RiverFlow2D
Modelo Bidimensional de Inundaciones y Dinámica de Ríos

Manual de Referencia

Marzo 2018

Hydronia LLC

El modelo RiverFlow2D© y su documentación han sido producidos por Hydronia, LLC, Pembroke Pines, FL. USA. La información contenida en este documento está sujeta a cambios sin notificación previa y no representa un compromiso por parte de Hydronia, LLC. El software descrito en este documento se proporciona bajo acuerdo de licencia.
Los derechos de autor de RiverFlow2D, OilFlow2D, RiverFlow2Dy RiverFlow2D GPU son propiedad de Hydronia, LLC. 2011-2017.
SMS es una marca de Aquaveo, LLC.
El resto de productos o servicios mencionados en este documento son marcas de sus respectivos propietarios.
Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada en un sistema de recuperación o transmitida de ninguna forma o por ningùn medio electrónico ni mecánico, fotocopiado, grabado o similar, sin el permiso de Hydronia, LLC.
Última fecha de modificación del documento: Agosto, 2017.
Soporte técnico: support@hydronia.com
Página web: www.hydronia.com

Contents

List of Figures . . . vii
List of Tables . . . x
1 Introducción . . . 1
1.1 Resumen de las características y capacidades de RiverFlow2D . . . 2
1.1.1 Generador de mallas . . . 2
1.1.2 Esquema numérico . . . 2
1.1.3 Componentes hidráulicas . . . 3
1.1.4 Formatos de los datos de entrada . . . 3
1.1.5 Condiciones iniciales . . . 3
1.1.6 Condiciones de contorno . . . 3
1.1.7 Opciones de resultados . . . 4
1.1.8 Módulo de transporte de sedimentos (Opcional) . . . 4
1.1.9 Módulo de transporte de contaminantes (Opcional) . . . 5
1.1.10 Módulo de lodo y flujo de escombros (Opcional) . . . 5
1.1.11 OilFlow2D: Derrames de petróleo en superficie . . . 5
2 Instalando RiverFlow2D SMS Edition . . . 7
2.1 Requisitos de hardware . . . 7
2.2 Installing RiverFlow2D and SMS . . . 7
2.3 Activating SMS . . . 8
2.4 Linking RiverFlow2D to SMS . . . 8
2.5 RiverFlow2D Documentation . . . 9
2.6 RiverFlow2D Technical Support . . . 9
3 Overview of SMS Capabilities . . . 11
3.1 Modules . . . 12
3.1.1 Mesh Module . . . 13
3.1.2 Scatter Module . . . 13
3.1.3 GIS Module . . . 14
3.1.4 Map Module/Conceptual Model . . . 15
3.1.5 Visualization Tools . . . 15
3.1.6 Vectors . . . 15
3.1.7 Plots . . . 16
3.1.8 Animations . . . 16
3.1.9 Export Options . . . 16
3.1.10 CAD Support . . . 17
3.1.11 Import Wizard . . . 17
3.1.12 Image Support . . . 17
4 Overview of RiverFlow2D SMS edition . . . 19
5 Ecuaciones del modelo RiverFlow2D . . . 23
5.1 Modelo hidrodinámico . . . 23
5.2 Suposiciones del modelo hidrodinámico . . . 23
5.3 Modelos de flujo transitorio . . . 24

5.4 Solución numérica en volúmenes finitos . . . 24
5.4.1 Optimizaciones numéricas . . . 27
5.4.2 Región de estabilidad . . . 28
5.5 Condiciones de contorno abiertas . . . 28
5.5.1 Tipos de condición de contorno de variable única (BCTYPE 1 y 6) . . . 30
5.5.2 Tabla de caudales (BCTYPE 9) . . . 31
5.5.3 Contornos abiertos "'libres"' (BCTYPE 10, 11) . . . 31
5.5.4 Condición de contorno de flujo uniforme (BCTYPE 12) . . . 31
5.5.5 Implementación numérica de los contornos abiertos . . . 31
5.5.6 Contornos cerrados . . . 36
5.6 Modelizado del seco/mojado . . . 37
5.6.1 Definición de celdas basada en las condiciones de seco y mojado . . . 37
5.7 VConservación del volumen . . . 38
5.8 Coeficientes n de rugosidad de Manning . . . 39
5.9 Modelo de transporte de sedimentos: RiverFlow2D Módulo ST . . . 39
5.9.1 Ecuaciones del modelo . . . 39
5.9.2 Leyes de transporte de sedimento . . . 41
5.9.3 Condiciones de contorno para el modelo de transporte de sedimento de fondo 42
5.9.4 Sedimento en suspensión . . . 42
5.9.5 Condiciones de contorno para el modelo de sedimento en suspensión . . . 45
5.9.6 Colapso geomorfológico . . . 45
5.9.7 Solución numérica en volúmenes finitos del transporte de sedimentos . . . 46
5.9.8 Introduciendo los datos para el modelo de transporte de sedimentos . . . 47
5.9.9 Suposiciones del modelo de transporte de sedimentos . . . 47
5.10 Modelo de flujo de lodo y escombros: Módulo MD de RiverFlow2D . . . 48
5.10.1 Suposiciones del modelo de flujo de lodo y escombros . . . 48
5.10.2 Formulación reológica . . . 48
5.10.3 Introduciendo los datos para el modelo de flujo de lodos y escombros . . . 51
5.11 Modelo de transporte de contaminante: Módulo PL de RiverFlow2D . . . 51
5.11.1 Ecuaciones del modelo . . . 52
5.11.2 Solución numérica en volúmenes finitos del transporte de contaminantes. . . 52
5.11.3 Introduciendo los datos para el modelos de transporte de contaminantes . . 55
5.11.4 Suposiciones del modelo de transporte de contaminantes . . . 55
6 Paralelización del código . . . 57
6.1 RiverFlow2D CPU . . . 57
6.2 RiverFlow2D GPU . . . 57
7 Componentes hidráulicas e hidrológicas . . . 59
7.1 Componente de puentes . . . 60
7.1.1 Archivo de datos con la geometría del puente . . . 62
7.1.2 Cálculos del puente . . . 64
7.2 Pilares de los puentes . . . 68
7.2.1 Cálculos de los pilares de puente . . . 69
7.3 Componente de alcantarillas . . . 70
7.3.1 Cálculo de alcantarillas usando una tabla de distribución o "'Rating Table"' (CulvertType = 0) . . . 72
7.3.2 Cálculo de alcanterillas usando las características de la alcantarilla (CulvertType = 1,2) . . . 73
7.3.3 Suposiciones de los cálculos de alcantarillas . . . 78
7.4 Componente de compuertas . . . 78
7.4.1 Cálculos de compuertas . . . 81

7.5 Lluvia, evaporación e infiltración . . . 81
7.5.1 Lluvia . . . 82
7.5.2 Infiltración . . . 82
7.5.3 Introduciendo los datos de lluvia, evaporación e infiltración . . . 87
7.6 Componente de viento . . . 87
7.7 Curvas de aforo internas . . . 88
7.7.1 Cálculos para la curva de aforo interna . . . 90
7.7.2 Suposiciones de los cálculos de las curvas de aforo internasl . . . 91
7.8 Fuentes y sumideros . . . 91
7.9 Vertederos . . . 93
7.9.1 Cálculo de vertederos . . . 94
7.9.2 Suposiciones de los cálculos de vertederos . . . 95
7.10 Modelado de brechas en presas . . . 95
8 Programa de entrada de datos (DIP) de RiverFlow2D . . . 97
8.1 Panel de datos de control (archivos .DAT) . . . 98
8.2 Panel de datos de transporte de sedimentos para el modelo RiverFlow2D Plus (archivos .SEDS y .SEDB) . . . 103
8.3 Panel de datos del flujo de lodos y escombros para el modelo RiverFlow2D Plus (fichero .MUD) . . . 106
8.4 Derrames de petróleo en superficia para el modelo OilFlow2D (fichero .OILP) . . . 107
8.5 Pestaña de opciones de salida gráfica (fichero .PLT) . . . 107
8.6 Panel de salida de perfiles (fichero .PROFILES) . . . 110
8.7 Panel de salida de las secciones transversales (fichero .XSECS) . . . 111
8.8 Panel de datos del contorno de entrada . . . 112
8.9 Outflow Boundary Data Panel . . . 113
8.10 Panel de alcantarillas (fichero .CULVERTS) . . . 115
8.11 Panel de tablas internas de distribución (Internal Rating Tables) (fichero .IRT) . . . 117
8.12 Panel de vertederos (fichero .WEIRS) . . . 118
8.13 Panel de fuentes/sumideros (archivo .SOURCES) . . . 119
8.14 Panel de condiciones de contorno abiertas (Fichero .IFL) . . . 120
8.15 Panel de los pilares de los puentes (fichero .PIERS) . . . 121
8.16 Panel de los puntos de observación (fichero .OBS) . . . 122
8.17 Panel de herramientas . . . 123
8.17.1 Intérprete de resultados del modelo bidimensional: 2dMRI . . . 123
8.17.2 Herramienta de extracción de datos de HEC-RAS . . . 123
9 Referencia de ficheros de entrada de datos . . . 125
9.1 Datos del control de simulación . . . 127
9.1.1 Fichero de datos del control de simulación: .DAT . . . 127
9.2 Datos de la malla . . . 136
9.2.1 Fichero de datos de la malla: .FED . . . 136
9.2.2 Ficheros de datos de condiciones de contorno abiertas: .IFL y .OBCP . . . 138
9.2.3 Fichero de datos del contorno de la malla: .TBA . . . 143
9.3 Datos de componentes . . . 145
9.3.1 Puentes . . . 145
9.3.2 Ficheros de datos de puentes: .BRIDGES . . . 145
9.3.3 Fichero de datos de la geometría de la sección transversal del puente . . . 147
9.3.4 Ficheros de fuerzas de rozamiento de los pilares del puente: .PIERS . . . 150
9.3.5 Fichero de datos de alcantarillas: .CULVERTS . . . 152
9.3.6 Ficheros de datos de las compuertas: .GATES . . . 159
9.3.7 Fichero de serie temporal de apertura de compuerta . . . 161

9.3.8 Fichero de datos de la tabla de distribución interna (Internal Rating Table): .IRT . . . 162
9.3.9 Fichero de datos de flujo de lodo y escombros: .MUD . . . 163
9.3.10 Oil Spill on Land Data File: .OILP . . . 165
9.3.11 Fichero de datos del módulo de transporte de contaminantes: .SOLUTES . 167
9.3.12 Fichero de datos de la concentración inicial del módulo de transporte de contaminantes: .CINITIAL . . . 168
9.3.13 Fichero de datos del coeficiente n de Manning variable con el calado: .MANNN 169
9.3.14 Fichero de datos de lluvia y evaporación: .LRAIN . . . 171
9.3.15 Fichero de datos de la infiltración: .LINF . . . 173
9.3.16 Ficheros de datos de transporte de sedimentos de RiverFlow2D Plus: .SEDS y .SEDB . . . 175
9.3.17 Fichero de datos de fuentes y sumideros: .SOURCES . . . 180
9.3.18 Ficheros de datos de vertederos: .WEIRS . . . 181
9.3.19 Fochero de datos de viento: .WIND . . . 183
9.4 Datos de control de salida . . . 185
9.4.1 Fichero de datos de puntos de observación: .OBS . . . 185
9.4.2 Fichero de datos de control de la salida gráfica: .PLT . . . 186
9.4.3 Datos para la salida de resultados de perfiles: .PROFILES . . . 190
9.4.4 Datos de secciones transversales para los ficheros de salida de resultados: .XSECS . . . 190
9.5 Datos de elevación . . . 192
9.5.1 Datos X Y Z con cabecera . . . 192
9.5.2 Datos generales X Y Z . . . 193
9.6 Datos de condiciones de contorno . . . 193
9.6.1 Ficheros de condición de contorno de una variable . . . 193
9.6.2 Ficheros de condiciones de contorno de dos variables . . . 194
9.6.3 Ficheros de condiciones de contorno de múltiples variables . . . 195
9.6.4 Ficheros de datos de nivel-caudal . . . 196
9.6.5 Ficheros de datos calado-caudal de la alcantarilla . . . 197
10 Referencia de ficheros de salida . . . 199
10.1 Resumen de los ficheros de salida . . . 199
10.2 Ficheros generales de salida . . . 202
10.2.1 Resumen de las opciones de simulación . . . 203
10.2.2 Datos y métrica de la malla . . . 204
10.2.3 Resumen de la simulación . . . 208
10.2.4 Ficheros de salida tabulados . . . 209
10.2.5 Ficheros de área de inundación . . . 210
10.2.6 Ficheros tabulados de valor máximo . . . 211
10.2.7 Observation Point Output Files . . . 212
10.2.8 Fichero "'Hot Start"' . . . 214
10.3 Ficheros de salida de componentes . . . 214
10.3.1 Ficheros de salida de alcantarillas . . . 215
10.3.2 Ficheros de salida de las tablas de distribución interna . . . 216
10.3.3 Ficheros de salida de vertederos . . . 217
10.4 Ficheros de salida de perfiles y secciones transversales . . . 218
10.4.1 Ficheros de salida generales para las secciones transversales . . . 218
10.4.2 Ficheros de salida de hidrogramas de secciones transversales . . . 219
10.4.3 Ficheros de salida de perfiles . . . 220
10.5 Ficheros de salida para post-procesado GIS . . . 222
10.5.1 Ficheros generales de distribución espacial para SMS (.HDF5) . . . 222

10.5.2 Ficheros generales de distribución espacial (.EXP) 224
10.5.3 Ficheros de concentración de contaminantes 225
10.5.4 Ficheros de concentración de sedimento en suspensión 227
10.5.5 Ficheros GIS de valor máximo 228
10.5.6 Fichero GIS "Time-to-Depth" 228
10.5.7 Ficheros de apoyo para generar *ESRI Shapefiles* 229
10.5.8 Ficheros de apoyo para generar mapas de riesgo USBR en formato *ESRI Shapefiles* (solamente para el post-procesado con Argus ONE) 229
10.6 Ficheros de salida para el post-procesado con QGIS 230
10.6.1 Resultados generales en celdas para QGIS 230
10.6.2 Ficheros de QGIS de valores máximos en las celdas 231
10.6.3 Fichero de QGIS "Time-to-Depth" en las celdas 231
10.6.4 Valores de intensidad de riesgo en ficheros de celdas de QGIS 232
10.7 Ficheros de salida gráfica 233
10.7.1 Ficheros DXF 233
10.7.2 Ficheros de salida GIF 233
10.7.3 Ficheros de salida VTK 233
11 Herramientas del Programa de Entrada de Datos 235
11.1 Herramienta de extracción de datos de HEC-RAS 235
12 References 237

List of Figures

1.1 Malla de celdas triangulares de RiverFlow2D. 2
1.2 Ventana principal de SMS mostrando un campo de velocidades calculado con RiverFlow2D. 5

2.1 SMS executable Properties dialog with the *Run as administrator* option set. 8
2.2 Location of the RiverFlow2D Documentation folder. 9

3.1 SMS main window. 12
3.2 Mesh module. 13
3.3 Scatter module. 14
3.4 GIS module. 14
3.5 Map module. 15
3.6 Three-dimensional view of mesh terrain. 16

5.1 Representación "'Piecewise"' uniforme de las variables del flujo. 25
5.2 Parametros de la celda. 25
5.3 Parametros de la celda. 26
5.4 Condiciones de contorno abiertas y cerradas. 28
5.5 Separación requerida entre condiciones de contorno abiertas. 29
5.6 Caudal de agua convertido en velocidades (BCTYPE 6). 30
5.7 Sección de entrada rectangular. 33
5.8 Sección de entrada irregular. 34
5.9 Evaluación de d_{min}. 34
5.10 Nuevo nivel de agua para la sección de entrada. 36
5.11 Condición de pared sólida. 37
5.12 Parámetros de la celda. 46
5.13 Panel de transporte de sedimentos de RiverFlow2D. 47
5.14 Diagrama reológico de algunas formulaciones no-newtonianas comunes. 49
5.15 Panel Mud/Debris Flow de RiverFlow2D. 51
5.16 Representación física del intercambio de masa de soluto entre celdas con $q^{\downarrow}_{i-1/2}, q^{\downarrow}_{i+1/2} > 0$. 54
5.17 Extracción de masa de soluto en una celda de contorno de salida. 54
5.18 Pestaña *Pollutant Transport* de RiverFlow2D. 55

6.1 Ganancia (Speed up) usando el código paralelizado de RiverFlow2D como una función del número de núcleos del procesador. 58
6.2 Ganancia (Speed up) usando el código paralelizado de RiverFlow2D en función del número de núcleos del procesador. 58

7.1 Panel *Control Data* de RiverFlow2D con la componente de puentes seleccionada. . 60
7.2 Polilinea del puente. 61
7.3 Atributos del arco. 61

7.4 Diálogo del puente. 61
7.5 Polilinea del puente sobre la malla. 62
7.6 Vista frontal del la sección transversal del un puente. 63
7.7 Visión en planta de un puente mostrando la sección transversal de interés. Por simplicidad, solamente se muestran dos pilares. 65
7.8 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. 65
7.9 Ejemplo simple de A_1,A_2, A_3 y A_4 empleado para calcular la pérdida de altura de presión en puentes parcialmente sumengidos. 66
7.10 Ejemplo simple de A_1,A_2, A_3 y A_4 empleado para calcular la pérdida de altura de presión en puentes completamente sumengidos. 66
7.11 Applicación del esquema en mallas de celdas triangulares. Normal bridge (left) and oblique bridge (right). 67
7.12 Proporciones de las pilas de los puentes usadas para estudiar la influencia de la anchura de la estructura. 67
7.13 Influencia de la anchura de la estructura en el cambio de la altura de presión total (ΔH) a través del puente como una función del número de Froude aguas abajo. . . 68
7.14 Diálogo *Control Panel* de RiverFlow2D con la componente de pilares de los puentes seleccionada. 68
7.15 Diálogo con los datos del pilar del puente. 69
7.16 Pilares en el interior de las celdas. 70
7.17 Vista esquemática de un pilar rectangular. 70
7.18 Diálogo *Global Parameters* de RiverFlow2D con la componente de alcantarillas seleccionada. 71
7.19 Vista esquemática perpendicular a las estructura de compuerta. 78
7.20 Modos de flujo a través de las compuertas. 79
7.21 Panel *Control Data* de RiverFlow2D con la componente de compuertas seleccionada. 79
7.22 Polilínea de la compuerta. 80
7.23 Atributos del Feature arc. 80
7.24 Diálogo de compuertas. 80
7.25 Niveles de agua para descarga bajo una compuerta sumergida formulados como en (G1). 81
7.26 Niveles de agua para descarga bajo una compuerta sumergida formulados como en (G2). 81
7.27 Panel Rainfall/Infiltration de RiverFlow2D. 87
7.28 Panel *Control Data* de RiverFlow2D con la componente IRT seleccionada. 88
7.29 Polilinea de curva de aforo interna. 89
7.30 Atributos de arco. 89
7.31 Diálogo *Internal Rating Table*. 89
7.32 Ventana para introducir las parejas (caudal-nivel de agua) para la IRT. 90
7.33 *Linea de nodos resultante a lo largo de la polilinea de la IRT.* 90
7.34 Panel Control Data de RiverFlow2D con la componente de fuentes y sumideros seleccionada. 91
7.35 Diálogo de fuentes/sumideros. 92
7.36 Editor de series temporales para introducir el caudal para una fuente/sumidero. . . 92
7.37 Panel Control Data de RiverFlow2D con la componente de vertederos seleccionada. 93
7.38 Polilina del vertedero. 93
7.39 Diálogo "'Feature arc attributes"'. 94
7.40 Diálogo de los datos del vertedero. 94
7.41 Sistema de coordenadas para la representación de la brecha en la presa. 96

8.1 Diálogo de apertura de proyectos del DIP de RiverFlow2D. 97
8.2 Ventana principal del programa de entrada de datos (Data Input Program) de RiverFlow2D. 98
8.3 Diálogo de selección de modelo de RiverFlow2D. 98
8.4 Panel de control de datos. 99
8.5 Panel de transporte de sedimentos (modelo RiverFlow2D Plus). 103
8.6 Panel del flujo de lodos/escombros (modelo RiverFlow2D Plus). 106
8.7 Panel de derrames de petroleo en superficie (modelo OilFlow2D). 107
8.8 Panel de salida gráfica. 108
8.9 Paletas de color. 108
8.10 Archivo de salida de perfiles. 110
8.11 Panel de salida de secciones transversales. 111
8.12 Panel de datos del contorno de entrada. 112
8.13 Gráfico de hidrograma de entrada. 112
8.14 Panel de datos del contorno de salida. 113
8.15 Panel de alcantarillas mostrando los datos en la curva de distribución (rating curve). 115
8.16 Panel de tablas internas de distribución. 117
8.17 Panel de vertederos. 118
8.18 Panel de fuentes/sumideros. 119
8.19 Panel de condiciones de contorno abiertas. 120
8.20 Panel de los pilares del puente. 121
8.21 Panel de puntos de observación. 122
8.22 Intérprete de resultados del modelo bidimensional: 2dMRI. 123
8.23 Intérprete de los resultados del modelo bidimensional: 2dMRI. 124

9.1 Ejemplo de una malla de RiverFlow2D. 128
9.2 Vista frontal de la sección transversal del puente. 148
9.3 Paletas de color. 189

10.1 Salida codificada por color de calado y vectores velocidad. 234

11.1 Comando HEC-RAS en el panel de herramientas. 236

List of Tables

4.1 SMS Menu for RiverFlow2D. 19
4.2 SMS Modules on RiverFlow2D SMS edition. 21

5.1 Condiciones de contorno requeridas. 29
5.2 Tipos de condiciones de contorno (CC) abiertas para el modelo hidrodinámico. . . 30
5.3 Resumen de las fórmulas del transporte de la carga de fondo. 42
5.4 Fórmulas para calcular la velocidad de sedimentación ω_s. 43
5.5 Formulaciones de resistencia de flujo reológico empleadas en RiverFlow2D MD. . 50

7.1 Descripción de las variables para el archivo de geomtría de la sección transversal del puente. 64
7.2 Coeficientes de rugosidad n de Manning de varios materiales para la alcantarilla. Adaptado de Froehlich (2003). 73
7.3 Coeficientes de pérdidas en la entrada K_e. Adaptado de Froehlich (2003). 74
7.4 Coeficientes de la fórmula del control de entrada a la alcantarilla. Adaptado de Froehlich (2003). 75
7.5 Configuraciones de entrada a la alcantarilla. Adaptado de *www.xmswiki.com/xms/*. 76
7.6 Infiltración inicial de Horton para distintos suelos. Fuente: Akan(1993). 82
7.7 Infiltración final de Horton para distintos suelos. Fuente: Akan(1993). 83
7.8 Valores medios y desviación estándar para los parámetros del modelo de Green-Ampt. Fuente: Rawls et al. (1983). 84
7.9 Grupos de antecedentes de contenido de humedad (AMC) (adaptación de Mishra et al. (2003) 86

8.1 Botones en el panel de control de datos. 99
8.2 Datos de control temporal en el panel de control de datos. 100
8.3 Cuadro de unidades en el panel de control de datos. 100
8.4 Cuadro de datos del control de computación en el panel de control de datos. . . . 100
8.5 Cuadro de datos de condiciones de contorno cerradas en el panel de control de datos. 101
8.6 Cuadro de datos de las opciones de salida en el panel de control de datos. 101
8.7 Cuadro de los datos de componentes en el panel de control de datos. 101
8.8 Cuadro de datos de componentes en el panel de control de datos. 102
8.9 Parámetros en el modo de transporte de sedimentos y botones del panel de transporte de seidmentos (modelo RiverFlow2D Plus). 103
8.10 Parámetros en el cuadro de transporte de sedimento en suspensión del panel de transporte de sedimentos (modelo RiverFlow2D Plus). 104
8.11 Parámetros en el cuadro de transporte de sedimento de fondo del panel de transporte de sedimento (RiverFlow2D Plus model). 105
8.12 Parametros en el panel del flujo de lodos/escombros (modelo RiverFlow2D Plus). 106
8.13 Parámetros en el panel de derrames de petróleo en superficie (modelo OilFlow2D Plus). 107

8.14 Parámetros en el panel de opciones de salida gráfica. 108
8.15 Parámetros en el panel de salida de perfiles. 110
8.16 Parameters on the Inflow Boundary Data Panel. 111
8.17 Parámatros en el panel de datos del contorno de entrada. 113
8.18 Parámetros en el panel de datos del contorno de salida. 114
8.19 Parámetros en el panel de alcantarillas. 115
8.20 Parámetros en el panel de tablas internas de distribución. 117
8.21 Parámetros en el panel de vertederos. 118
8.22 Parámetros en el panel de fuentes/sumideros. 119
8.23 Parámetros en el panel de condiciones de contorno abiertas. 120
8.24 Parámetros en el panel de los pilares del puente. 121
8.25 Parámetros en el panel de los puntos de observación. 122
8.26 Ficheros generados por la herramienta de extracción de datos de HEC-RAS. . . . 124

9.1 Listado de ficheros de entrada. 125
9.2 Descripción de las variables para el fichero .DAT. 129
9.3 Descripción de las variables para el fichero .FED. 137
9.4 Descripción de las variables para los ficheros .IFL y .OBCP. 140
9.5 Tipos de condición de contorno. 140
9.6 Condiciones de contorno para régimen de flujo supercrítico. 141
9.7 Descripción de las variable para el fichero .DAT. 144
9.8 Descripción de las variable para el fichero .BRIDGES. 146
9.9 Descripción de las variable Descriptions para el fichero de la geometría de la sección transversal del puente. 149
9.10 Descripción de las variable para el fichero .PIERS. 150
9.11 Coeficientes de arrastre (drag) para los pilares de puente. Adaptado de Froehlich (2003). 151
9.12 Descripción de variables par ael fichero .CULVERTS. 152
9.13 Descripciones de las variables de los ficheros de datos de calado-caudal de la alcantarilla. 154
9.14 Descripciones de las variables para el fichero característico de la alcantarilla. . . . 155
9.15 Coeficientes de rugosidad n de Manning para varios materiales de alcantarilla. Adaptado de Froehlich (2003). 155
9.16 Coeficientes de pérdidas a la entrada coefficients K_e. Adaptado de Froehlich (2003).156
9.17 Coeficientes de la fórmula de control de entrada. Adaptado de Froehlich (2003). . 157
9.18 Configuraciones de la entrada de la alcantarilla (adaptado de `www.xmswiki.com/xms/`). 158
9.19 Descripción de las variable para el fichero .GATES. 160
9.20 Descripciones de las variable Descriptionss para el fichero .GATES. 161
9.21 Descripciones de las variables para el fichero .IRT. 163
9.22 Descripción de las variables para el fichero .MUD. 164
9.23 Relación de resistencia al flujo. 164
9.24 Descripción de las variables para el fichero .OILP. 166
9.25 Explicación del fichero ejemplo .SOLUTES. 168
9.26 Descripciones de las variables para el fichero .SOLUTES. 168
9.27 Descripción de las variables para el fichero .MANNN. 169
9.28 Descripciones de variables para el fichero de datos de los coeficientes n de Manning variable con el calado. 170
9.29 Descripciones de las variables para el fichero .LRAIN. 172
9.30 Descripción de las variables para el fichero de datos del hietograma y la evaporación.172
9.31 Descripciones de las variables para el fichero .LINF. 174

9.32 Descripción de las variables para el fichero de parámetros de infiltración. 175
9.33 Descripción de las variables para el fichero .SEDS. 177
9.34 Descripciones de las variables para le fichero .SEDS. 179
9.35 Descripción de las variables para el fichero .SOURCES. 181
9.36 Descripciones de las variables para el fichero .WEIRS. 182
9.37 Descripción de las variables para el fichero .WIND. 184
9.38 Descripciones de las variables para el fichero de velocidad del viento 185
9.39 Descripciones de las variable para el fichero .OBS 185
9.40 Descripción de las variables para el fichero .PLT 186
9.41 Formatos de imagen soportados y sus correspondientes extensiones de *world file*. . 189
9.42 Descripciones de las variables para el fichero .PROFILES 190
9.43 Descripciones de las variables para el fichero .XSECS 191
9.44 Descripción de las variables para el fichero .EXP. 192
9.45 Descripción de las variables de los ficheros de condiciones de contorno. 194
9.47 Descripción de las variables de los ficheros de condiciones de contorno de dos variables. 195
9.49 Descripciones de las variables de los ficheros de condiciones de contorno de múltiples variables. 196
9.50 Descripción de las variables de los ficheros de condiciones de contorno de dos variables. 197
9.51 Descripción de las variablesde los ficheros de datos calado-caudal de las alcantarillas. 197

10.1 Lista de ficheros de datos de salida. 199
10.2 Variables reportadas en los ficheros .MESHOUTI y .MESHOUTE. 204
10.3 Variables reportadas on the Observation Point Files. 211
10.4 Variables reportadas en los ficheros de puntos de observación. 212
10.5 Variables reportadas en los ficheros de salida de vertederos. 217
10.6 Variables reportadas en los ficheros de salida _RESULTS.HDF5. 222
10.7 Variables dinámicas reportadas en los ficheros <ProjectName>_MAXIMUM_RESULTS.HDF5. 223
10.8 Variables dinámicas reportadas en los archivos <ProjectName>_MAXIMUM_RESULTS.HDF5. 223
10.9 Variables reportadas en los ficheros TIME_.EXP Output. 224
10.10 Variables reportadas en los ficheros CONC*.EXP. 226
10.11 Variables reportadas en los ficheros ST*.EXP. 227
10.12 Variables reportadas en los ficheros <ProjectName>_..._MAX.EXP 228
10.13 Variables reportadas en el fichero <ProjectName>_time2depths.exp. 229
10.14 Clasificación de riesgos de la USBR en el fichero `USBR\_Hazard.EXP`. 230
10.15 Variables reportadas en los ficheros de salida `CELL\_TIME\_*.TEXTOUT`. 230
10.16 Variables reportadas en los ficheros <ProjectName>_..._CELLS_MAX.TEXTOUT 231
10.17 Variables reportadas en el fichero <ProjectName>_TIME2DEPTHS_CELLS.TEXTOUT. 232
10.18 Variables reportadas en el fichero <ProjectName>_CELLS_HAZARD.TEXTOUT. 233

11.1 Archivos de HEC-RAS con información de las elevaciones. 235

1 Introducción

RiverFlow2D es un modelo combinado de simulación hidráulica e hidrológica, evolución del fondo y transporte de contaminantes para ríos, estuarios y llanuras de inundación, basado en el método de volúmenes finitos. Es capaz de transportar avenidas en ríos y simular inundaciones sobre llanuras y terrenos complejos con una alta resolución, velocidad remarcable y gran estabilidad y precisión. El uso de mallas de celdas triangulares adaptativas al terreno permite resolver el flujo alrededor de puntos clave en cualquier entorno fluvial.

La interfaz de usuario de RiverFlow2D está basada en el software Surface-Water Modeling Solution (SMS) desarrollado por Aquaveo. Este sistema contiene una interfaz de tipo GIS que proporciona funcionalidades interactivas para generar y refinar la malla usada por RiverFlow2D. SMS usa 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 valores de rozamiento, permitiendo al usuario gestionar de forma efectiva el proceso de modelado. SMS ofrece un amplio conjunto de herramientas de visualización, incluyendo renderizado 3D, animaciones y exportación de gráficos a Google Earth.

El motor de cálculo de RiverFlow2D usa un esquema en volúmenes finitos preciso y estable que elimina las dificultades que el contorno y los inicios "en caliente" de la simulación que presentan algunos modelos bidimensionales en mallas flexibles. El modelo puede integrar estructuras hidráulicas como alcantarillas, presas, puentes, compuertas y tablas de distribución interna. 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 proporcionan instruciones para instalar RiverFlow2D 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 adicional incluye diversos tutoriales que ayudarán al usuario a comenzar a usar RiverFlow2D y aprender a aplicar varias componentes del modelo como puentes, alcantarillas, lluvia e infiltración, compuertas, etc.

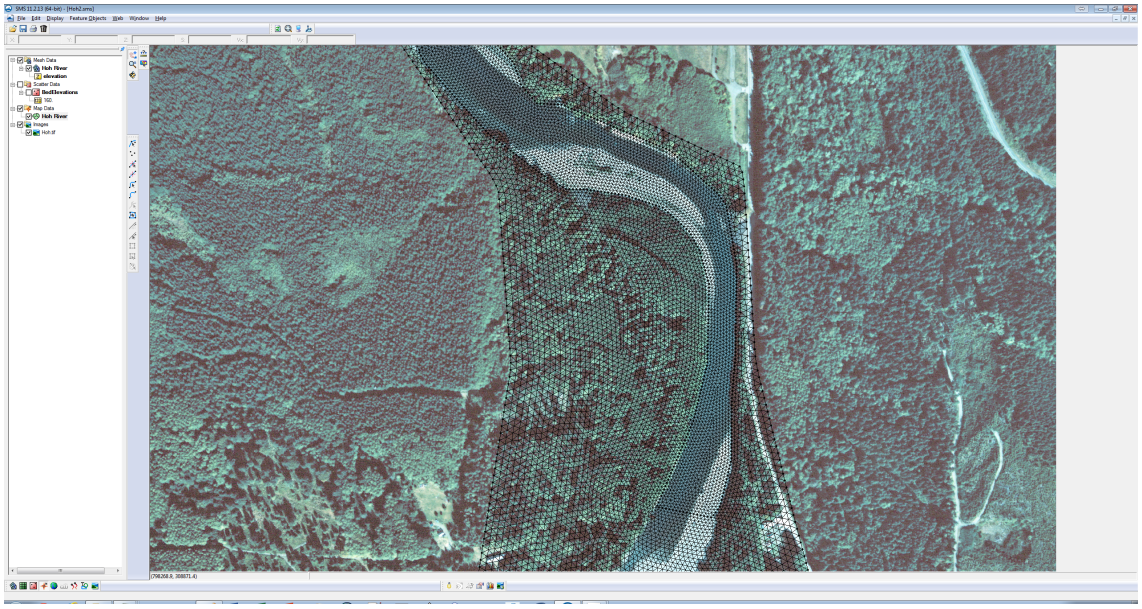


Figure 1.1 – Malla de celdas triangulares de RiverFlow2D.

1.1 Resumen de las características y capacidades de RiverFlow2D

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 y muchos otros...

1.1.2 Esquema numérico

- Discretización espacial usando elementos 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 >150X más rápidas.

1.1.3 Componentes hidráulicas

- 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 del calado

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.

1.1.5 Condiciones iniciales

- Fondo seco
- Nivel de agua definido por el usuario

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 distribución (rating tables)

- Salida libre
- Concentración de sedimento en suspensión a la entrada (Módulo ST)
- Concentraciones de contaminante a la entrada (Módulo ST)

1.1.7 Opciones 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, calado y nivel de agua
- Esfuerzo con el fondo
- Erosión y calado de sedimento
- Valores máximos de velocidad, nivel de agua, erosión o altura de sedimentos, etc.
- Cambios en la elevación del fondo
- Número de Froude
- Flujos de sedimentos
- Tiempo hasta 0.3 m (1 ft), timepo hasta 1 m (3 ft) y tiempo hasta el pico de altura
- Tiempo de inundación durante el cuál el calado es mayor que 0.1 m o 4 pulgadas
- Archivos tipo "'shape"' ESRI de polígonos, lineas y puntos
- Malla Autodesk DXF y campo de velocidades
- Gráficas de post-proceso GIS ìncluyendoarchivos tipo "'shape"' e imágenes raster
- Paraview VTK

1.1.8 Módulo de transporte de sedimentos (Opcional)

- 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

1.1.9 Módulo de transporte de contaminantes (Opcional)

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

1.1.10 Módulo de lodo y flujo de escombros (Opcional)

- Fluidos no-Newtonianos
- 7 formulaciones reológicas
- Flujo granular

1.1.11 OilFlow2D: Derrames de petróleo en superficie

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



Figure 1.2 – Ventana principal de SMS mostrando un campo de velocidades calculado con RiverFlow2D.

2 Instalando RiverFlow2D SMS Edition

RiverFlow2D requiere SMS versión 11.2 o posterior. Esta sección asistirá al usuario en la configuración del modelo RiverFlow2D para su uso desde SMS.

2.1 Requisitos de hardware

RiverFlow2D está soportado en ordenadores de 64-bit con MS-Windows 7, 8.1, 10. Se recomienda un mínimo de 4 Gb de RAM y al menos 10 GB de espacio libre en el disco duro. RiverFlow2D es capaz de correr en ordenadores con un único procesaros. Si se dispone de procesadores multi-núcleo (Duo, Quad, etc.), el modelo se puede ejecutar en modo paralelizado, permitiendo una simulación mucho más rápida que con un único núcleo. Además, si se dispone de una licencia GPU para el modelo, es posible simular aprovechando la potencia de la tarjeta gráfica (GPU) del ordenador, permitiendo simulaciónes hasta 150 veces más rápidas que en un procesador con un único núcleo.

Se recomienda desinstalar todas las versiones previas de RiverFlow2D SMS antes de instalar esta versión.

2.2 Installing RiverFlow2D and SMS

To install RiverFlow2D, please follow these steps.

1. When installing from a DVD, please insert the RiverFlow2D installation disk into your DVD drive, double click on the RiverFlow2D SMS setup file and follow the on-screen instructions. If you received a setup file link, please download the file and double-click on it.

2. If you are installing on a PC running Windows 7 or later, you must be logged on the PC as an administrator before you begin the installation.

2.3 Activating SMS

Depending on the SMS licensing options you have, you may need to use different procedures to activate the software. Please go to Aquaveo website at `http://www.aquaveo.com/license-instructions` to find specific instructions to your particular SMS license.

2.4 Linking RiverFlow2D to SMS

In order to use RiverFlow2D from SMS GUI, it is necessary to link RiverFlow2D to SMS as follows:

1. Run the SMS program
2. On the *Edit* menu, click *Preferences...*
3. Click the *File Locations* Tab
4. Scroll down in the Model Executables frame till you see the Generic model.
5. Click the *Browse* button and find the folder `C:\ProgramFiles(x86)\SMSRiverFlow2DPlusv4` and select the model executable file `RiverFlow2Dm4.exe`.
6. Click OK to exit.

Often you may find necessary to run SMS in administration mode. To set that mode of operation, assuming you have SMS v12.1, use the Windows File Explorer and go to the `C:\ProgramFiles\SMS12.164-bit` folder, right-click on `SMS121.exe`, and then select *Run as administrator* as indicated in Figure 2.1

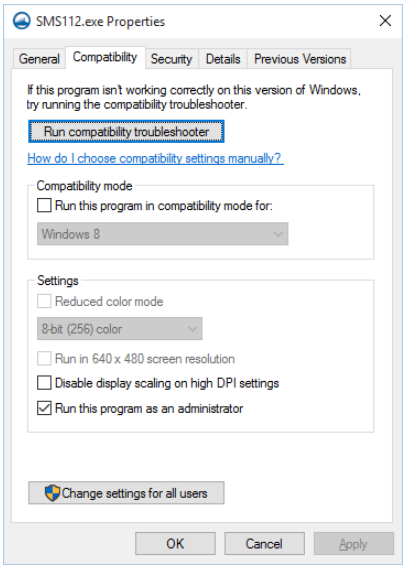


Figure 2.1 – SMS executable Properties dialog with the *Run as administrator* option set.

2.5 RiverFlow2D Documentation

Find the RiverFlow2D documentation including this manual in the following folder:

`\RiverFlow2D_SMS\Documentation` usually installed under `...\Documents` or `\MyDocuments` (see Figure 2.2).

Also under `\RiverFlow2D_SMS`, you will find example projects, videos, presentations, and other useful resources.

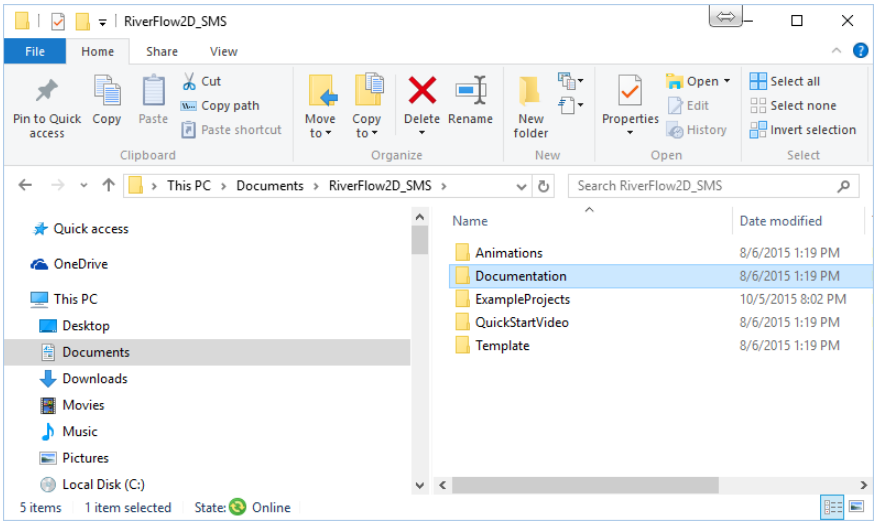


Figure 2.2 – Location of the RiverFlow2D Documentation folder.

2.6 RiverFlow2D Technical Support

If you have any questions or need assistance, please email our support team at: `support@hydronia.com`. Please make sure you visit our web site `www.hydronia.com` regularly to find out about new products and updates.

3 Overview of SMS Capabilities

SMS is a general purpose Graphical User Interface (GUI) for free-surface flow models. SMS represents the hydraulic or hydrologic problem based on a *Conceptual Model* that consists of a simplified representation of the situation being simulated. The Conceptual Model includes the geometric attributes of the area such as the extents, the boundary conditions acting on the domain (such as inflow discharges or water levels) and the physical characteristics (such as bed roughness). The Conceptual Model does not include numerical details such as mesh elements, etc. It is helpful to construct the model using feature objects in the Map module and having an aerial image in the background as a reference. After building the Conceptual Model, a mesh can be generated and the data will be automatically transferred to the mesh cells and nodes. Figure 3.1 shows the main parts of the SMS window.

A variety of tools in SMS allow the user to manage the data, set up the project and post-process output results. The primary tools and windows can be described as follows:

- Main Graphic Window: the data management is done in this window.
- Toolbox:
    1. Modules: these icons control what menu commands and tools are available at any given time while operating in SMS. Each module corresponds to a specific type of data: triangular-cell mesh, scattered data, etc. The commands that operate each module are available once the module is active.
    2. Static Tools: set of tools used to manipulate the display. They do not change for different modules.
    3. Dynamic Tools: tools used to create and edit entities specific to the module. They change according to the selected module and the active model.
    4. Macros: shortcuts for menu commands. They can be set in the *Preferences* dialog accessible on the *Edit* menu and clicking *Preferences...*
- Project Explorer or Tree Window: to view all data that makes up a part of a project. It is used to switch modules, select coverage to work with, select a base set to be active, and set display settings of the various entities in the active coverage. By right clicking on various entities in the project explorer, the user may also transform, copy, or manipulate the entity.

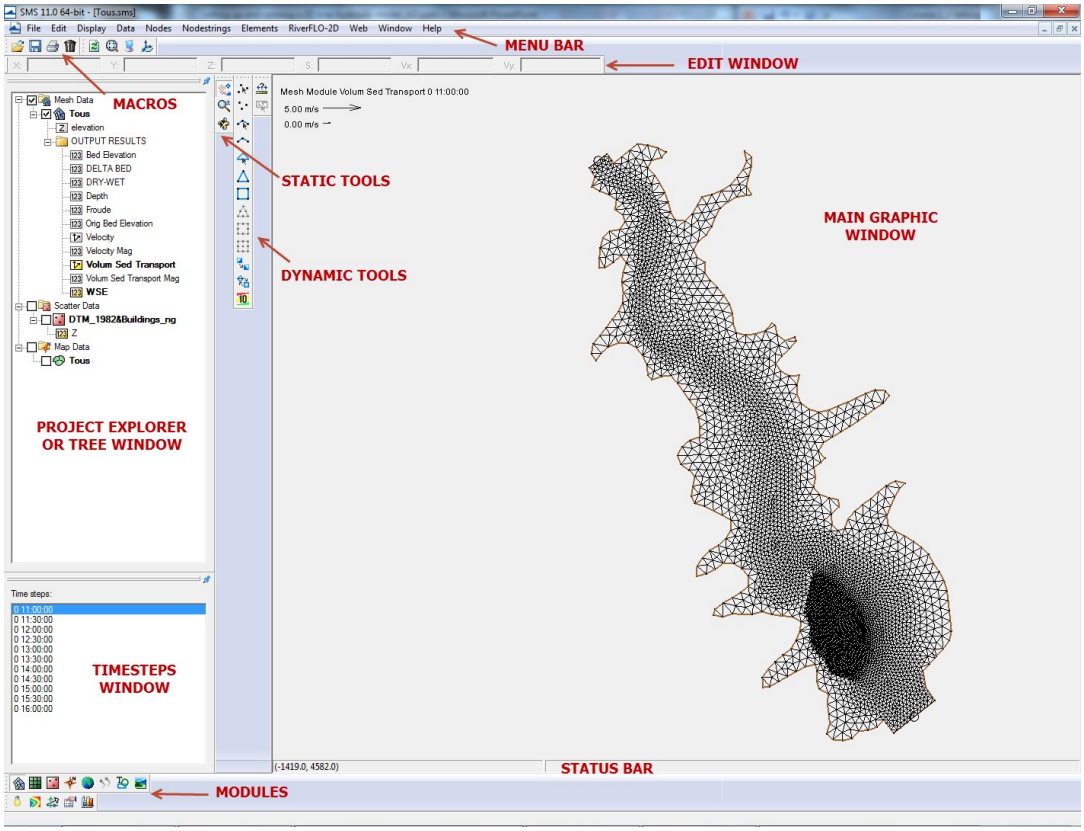


Figure 3.1 – SMS main window.

- Time Steps Window: it is used to select results for specific time steps when a transient dataset has been loaded into the project.
- Edit Window: It is used to show and/or change the coordinates of selected entities.
- Menu Bar: Allow managing data depending on the active module.
- Status Bar: it shows the mouse coordinates when the model is in plan view and the information for selected entities.

3.1 Modules

Data is divided into modules based upon the data type they can accommodate.



- There is always one active module.
- The menus and toolbars change depending on the active module.
- The current module may be selected in the module bar or by selecting an object in the project explorer.

3.1.1 Mesh Module

The mesh module is used to create, edit, and visualize mesh data. RiverFlow2D meshes are also referred to as unstructured grids and are defined by nodes and elements also called cells.

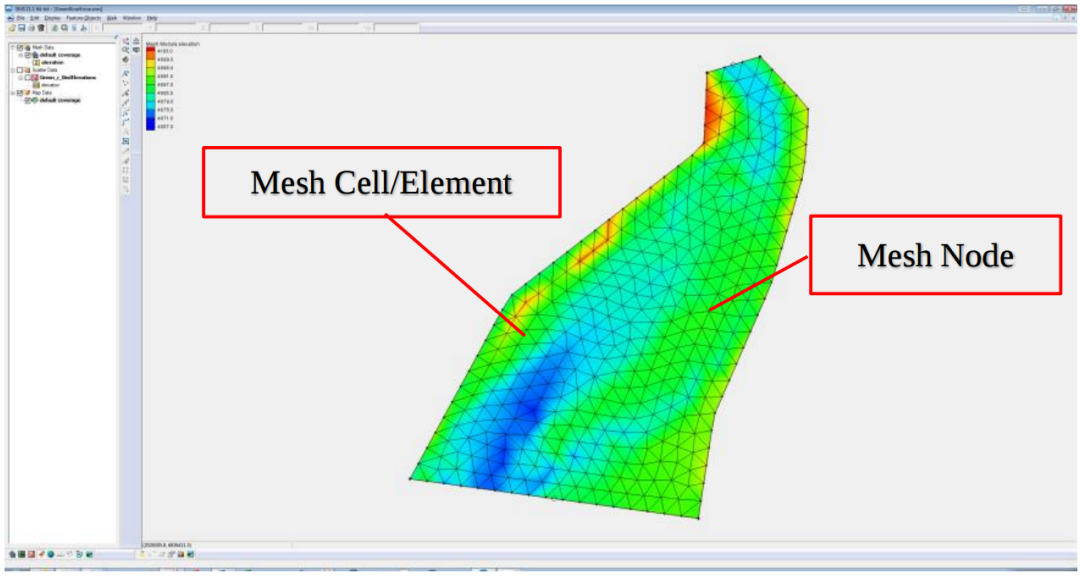


Figure 3.2 – Mesh module.

3.1.2 Scatter Module

The Scatter Module is used to create, edit, and visualize Triangulated Irregular Networks (TINs).

- DEM's can be read in and converted to TINs.
- Filter scatter sets to eliminate redundant data.
- Datasets can be interpolated to other modules, e.g. a mesh.

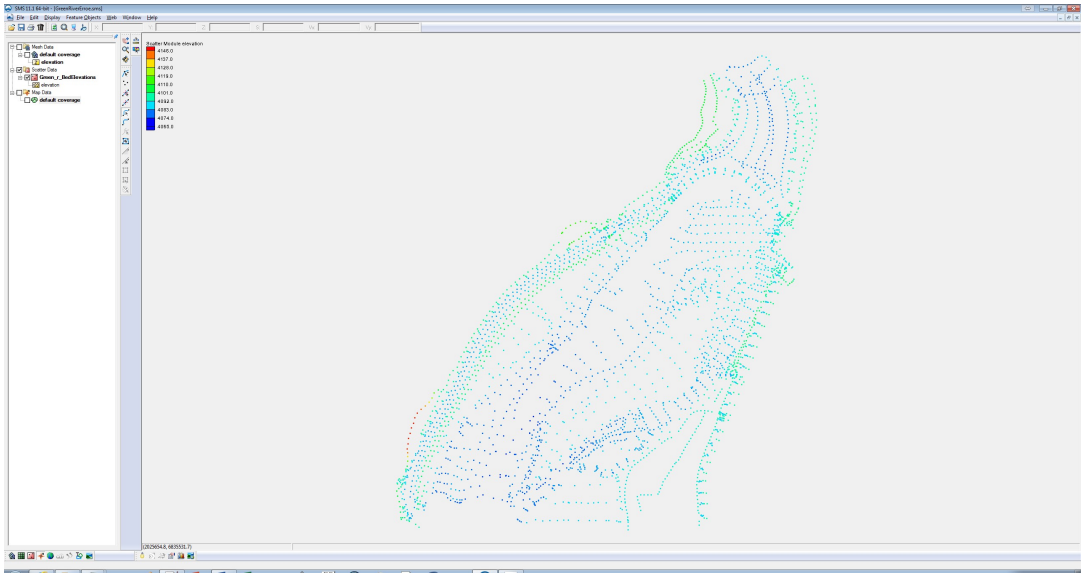


Figure 3.3 – Scatter module.

3.1.3 GIS Module

The GIS Module is used to import and visualize GIS data such as shapefiles.

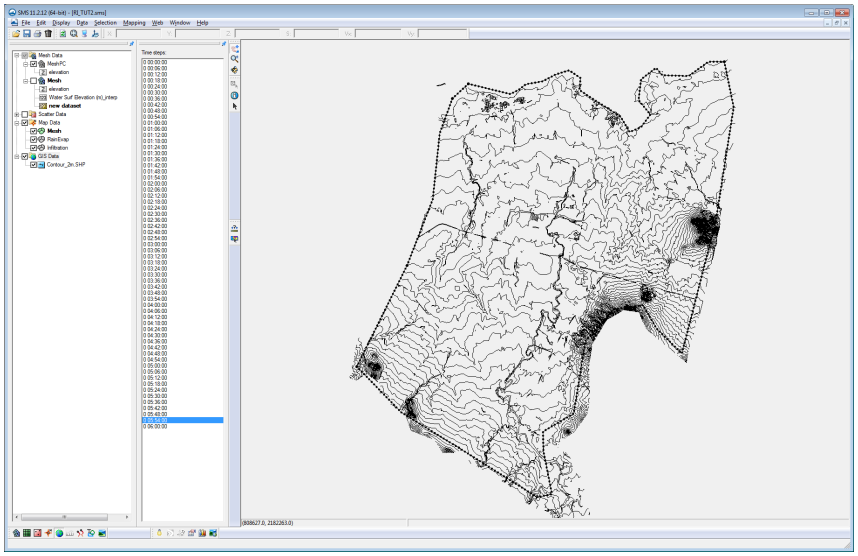


Figure 3.4 – GIS module.

- Supports ESRI and MapInfo formats.
- Uses ESRI files to use ArcGIS visualization options.
- GIS data can be converted to feature data to the Map module.

3.1.4 Map Module/Conceptual Model

The Map Module provides the GIS containers that allow creating the conceptual model

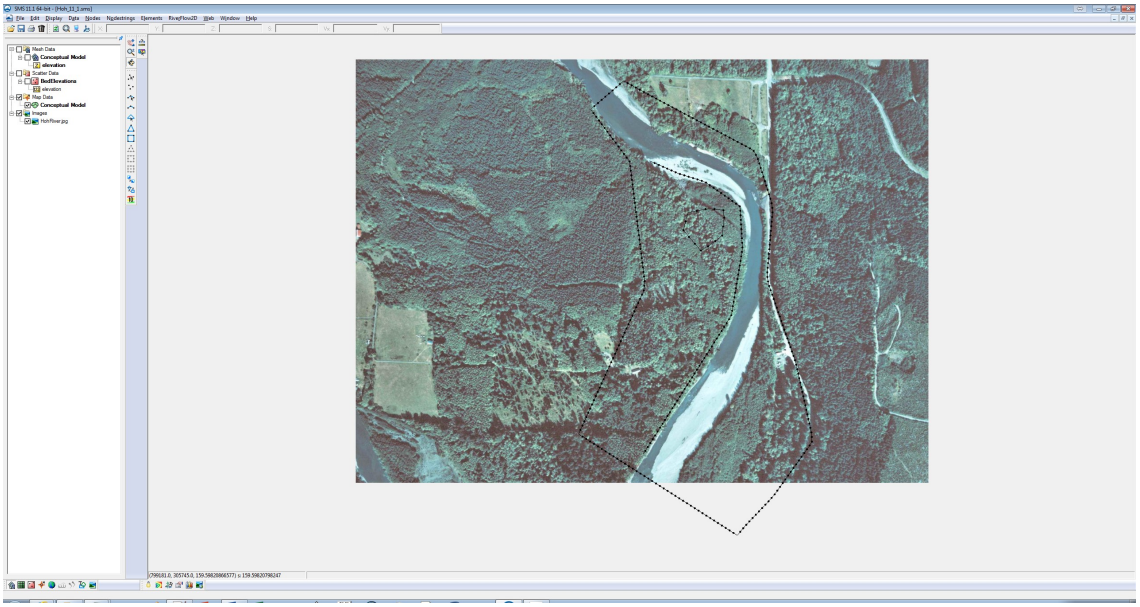


Figure 3.5 – Map module.

- Create and edit GIS data.
- Used to create conceptual models as well as data for other purposes.
- Conceptual model is a geometry, mesh independent representation of the numeric model domain and its boundary conditions.
- Features can be converted to model geometry and boundary conditions.
- Conceptual model makes it easier to create, and edit model data.

3.1.5 Visualization Tools

- Visualize scalar and vector datasets.
- Linear, color filled or both.
- Transparency.
- Full control of ranges and colors.
- Precision control for labels and legends.

3.1.6 Vectors

- Visualize vector datasets as arrows.
- Constant size or vary by magnitude.

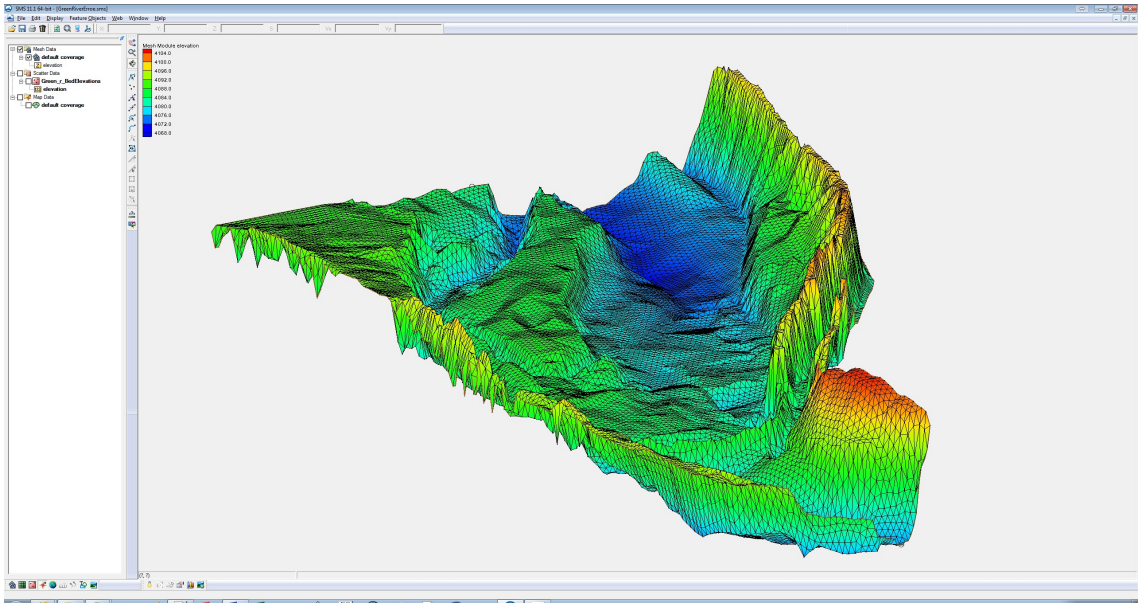


Figure 3.6 – Three-dimensional view of mesh terrain.

- Show just a range of magnitudes.
- Color by magnitude.

3.1.7 Plots

- 2D plots to visualize results and compare to measured values.
- Profile plots view scalar data along polylines.
- Time-series plots view scalar, vector, or flux (flowrate) data at a point or across a polyline.
- Several kinds of plots can be used to compare model results with measured data.

3.1.8 Animations

- Several types of AVI animations (film loops) can be generated.
- Transient data animation shows model changes through time (contours, vectors, etc.).
- Flow trace uses vector data to generate flow paths through the geometry.
- Drogue plots use user specified starting locations and show how the particles would flow through a vector field.
- Multiple view animations show the data while transitioning between different views.

3.1.9 Export Options

- Graphics window can be copied to the clipboard.
- Current view can be exported in KML format for visualization in Google Earth.

3.1.10 CAD Support

- AutoCAD DXF and DWG files can be read into SMS.
- CAD data is displayed in 3D.
- CAD data can be converted to map or scatter data.

3.1.11 Import Wizard

- Read columnar ASCII data into SMS.
- Columns can be fixed width or delimited by specific characters.
- Data can be read as mesh, scatter, or map data.

3.1.12 Image Support

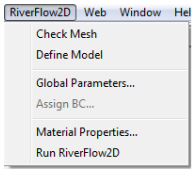
- Multiple images can be read/viewed at the same time.
- Many image formats are supported including JPG, TIFF, PNG, MrSID, ECW, and more.
- Images can be geo-referenced to view images along with other data.
- Images can be draped over mesh or scatter data.
- Image pyramids can be created which improves viewing at various zoom levels.

4

Overview of RiverFlow2D SMS edition

RiverFlow2D SMS Generic Model includes a set of standard options organized in groups that facilitate the user interaction with the model. The standard window groups include: Check Mesh, Define Model, Global Parameters, Assign BC, Material Properties and Run RiverFlow2D shown in Table 4.1.

Table 4.1 – SMS Menu for RiverFlow2D.

RiverFlow2D Menu	Tab Name	Type	Content
	Check Mesh	Information	Identifies potential issues in the construction of the mesh or data.
	Define Model	Template	Group locked. It contains the structure of a RiverFlow2D Template.
	GLOBAL PARAMETERS	TAB	WINDOW TO ENTER DATA
	Control Data	Data	Model run control parameters such as simulation time, etc.
	Graphic Output Options	Data	Parameters that can be set for the graphical output plots that are generated during runtime.
	Sediment Transport	Data	Parameters for the Sediment Transport Model.
	Mud and Debris Flow	Data	Parameters for the Mud and Debris Flow Model.
	Pollutant Transport	Data	Parameters for the Pollutant Transport Model.
	Rainfall / Evaporation	Data	Rainfall and Evaporation Data.

Continued on next page

Table 4.1 – continued from previous page

RiverFlow2D Menu	Tab Name	Type	Content
	Component Controls	Data	Turn on and off the different components as piers, weirs, culverts, sources and sinks, bridges, gates and internal rating tables.
	ASSIGN BOUNDARY CONDITIONS	TAB	ASSIGN BC's
	Exterior	Data	Specify boundary conditions on exterior boundaries.
	Interior	Data	Specify internal conditions on a polyline.
	Bridges	Data	Specify data for the Bridges component.
	Gates	Data	Specify data for the Gates component.
	Weir	Data	Specify data for the Weirs component.
	MATERIAL PROPERTIES	TAB	ASSIGN ROUGHNESS PARAMETERS
	Materials	Data	Enter Manning's n that will be assigned to polygons in the conceptual model.
	Run	RiverFlow2D	To execute RiverFlow2D
	MESH	MODULE	CREATION OF NODES/ELEMENTS
	Mesh	2D unstructured grids	Define the computational domain of the numerical model that consists of nodes group together to form elements.
	Elevation	Terrain Data	Bed elevations data file.
	Output Results	Nodal Values	Model output (.hdf5) will be read as mesh datasets. Scalar datasets are identified by the 123 icon, and the vector dataset have the vector icon.
	SCATTER	MODULE	INTERPOLATE SPATIAL DATA VALUES
	Scatter	Nodal values	Interpolate values using one of the available interpolation schemes including linear, natural neighbor and inverse distance weighted. The module can be also used to view and edit survey data.
	MAP	MODULE	USE OF GIS OBJECTS TO BUILD CONCEPTUAL MODEL
	Conceptual Model	GIS Objects	GIS objects such as points, nodes, arcs and polygons are grouped into layers or coverages and use to create the hydraulic model. The coverage type determines the attributes available for the objects in the coverage.

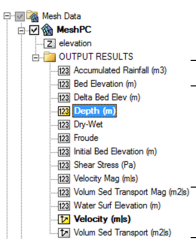
Continued on next page

Table 4.1 – continued from previous page

RiverFlow2D Menu	Tab Name	Type	Content
	GIS	MODULE	TO LINK WITH GIS DATA
	GIS	Data	Allow users to handle large files more efficiently importing large files and then select and convert to feature objects only the portions that are needed.

The commands in SMS are divided based on the types of data they operate on. The dynamic toolbar and available menu commands instantaneously change when the user switches from one module to another. Only one module is active at any given time. The data associated with a module (e.g. a 2D mesh) is preserved when the user switches to a different module. The different SMS Modules used to set up a project in SMS are described below:

Table 4.2 – SMS Modules on RiverFlow2D SMS edition.

SMS Module	Name	Type	Content
	Check Mesh	Information	Identifies potential issues in the construction of the mesh or data.
	MESH	MODULE	CREATION OF NODES/ELEMENTS
	Mesh	2D unstructured grids	Define the computational domain of the numerical model that consists of nodes group together to form elements.
	Elevation	Terrain Data	Bed elevations data file.
	Output Results	Nodal Values	Model output (.hdf5) will be read as mesh datasets. Scalar datasets are identified by the 123 icon, and the vector dataset have the vector icon.
	SCATTER	MODULE	INTERPOLATE SPATIAL DATA VALUES
	Scatter	Nodal values	Interpolate values using one of the available interpolation schemes including linear, natural neighbor and inverse distance weighted. The module can be also used to view and edit survey data.
	MAP	MODULE	USE OF GIS OBJECTS TO BUILD CONCEPTUAL MODEL
	Conceptual Model	GIS Objects	GIS objects such as points, nodes, arcs and polygons are grouped into layers or coverages and use to create the hydraulic model. The coverage type determines the attributes available for the objects in the coverage.
	GIS	MODULE	TO LINK WITH GIS DATA
	GIS	Data	Allow users to handle large files more efficiently importing large files and then select and convert to feature objects only the portions that are needed.

5 Ecuaciones del modelo RiverFlow2D

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 resolvedores de Riemann aumentados [Rosatti et al. (2003), Murillo and 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 calado de agua y otras inestabiidades 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 RiverFlow2D.

5.2 Suposiciones del modelo hidrodinámico

1. RiverFlow2D 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 asume 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 momento.

5.3 Modelos de flujo transitorio

Los flujos en aguas poco profundas pueden ser descritos matemáticamente mediante las ecuaciones de conservación de masa y momento 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:

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

donde $\mathbf{U} = (h,\ q_x,\ q_y)^T$ es el vector de variables conservadas con h representando el calado 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:

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

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

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

donde las pendientes del nivel de fondo z_b son

$$S_{0x} = -\frac{\partial z_b}{\partial x}, \qquad S_{0y} = -\frac{\partial z_b}{\partial y} \tag{5.4}$$

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

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

siendo n el coeficiente de rugosidad.

5.4 Solución numérica en volúmenes finitos

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

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

donde $\mathbf{E} = (\mathbf{F}, \mathbf{G})$ y $\mathbf{n} = (n_x, n_y)$ es el vector unitario normal en dirección exterior al volumen Ω. Para obtener una solución numérica del sistema (5.6), el dominio se divide en celdas computacionales, Ω_i, usando una malla fija. Asumiendo una representación "'piecewise"' de las variables

conservadas (Figure 5.1) y una formulación "'upwind"' y unificada de flujos y términos fuente (Murillo & García-Navarro 2010*b*)

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_{\Omega_i}\mathbf{U}d\Omega+\sum_{k=1}^{NE}(\mathbf{En}-\bar{\mathbf{S}})_k l_k=0 \tag{5.7}$$

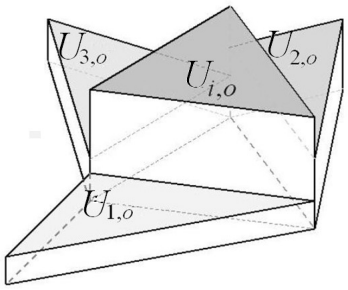


Figure 5.1 – Representación "'Piecewise"' uniforme de las variables del flujo.

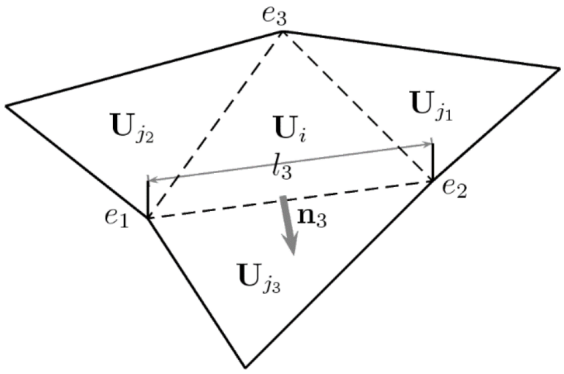


Figure 5.2 – Parametros de la celda.

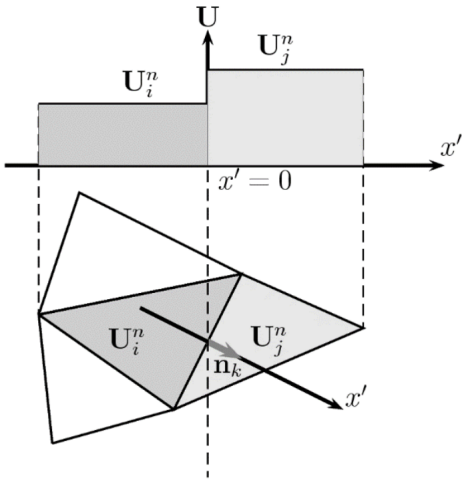


Figure 5.3 – Parametros de la celda.

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

$$\widetilde{\mathbf{P}}_k^{-1}\widetilde{\mathbf{J}}_{\mathbf{n},k}\widetilde{\mathbf{P}}_k = \widetilde{\mathbf{\Lambda}}_k \tag{5.8}$$

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

$$\widetilde{\mathbf{\Lambda}}_k = \begin{pmatrix} \widetilde{\lambda}^1 & 0 & 0 \\ 0 & \widetilde{\lambda}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \widetilde{\lambda}^3 \end{pmatrix}_k \tag{5.9}$$

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

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

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 2010*b*). La linealización completa de todos los términos en combinación con la técnica "'upwind"' permite definir la función de flujo numérico $(\mathbf{En} - \bar{\mathbf{S}})_k$ como

$$(\mathbf{En} - \bar{\mathbf{S}})_k = \mathbf{E}_i\mathbf{n}_k + \sum_{m=1}^{3}\left(\widetilde{\lambda}^- \; \theta\alpha\widetilde{\mathbf{e}}\right)_k^m \tag{5.11}$$

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

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

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

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

(5.12) puede reescribirse como

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

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

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

con

$$\delta\mathbf{M}_{i,k}^- = \sum_{m=1}^{3} \left(\widetilde{\lambda}^- \; \theta\alpha\widetilde{\mathbf{e}} \right)_k^m \tag{5.16}$$

El uso de (5.15) es eficiente cuando se consideran condiciones de contorno. Al mismo tiempo, garantiza la conservación. En (Murillo & García-Navarro 2010*b*), 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.

5.4.1 Optimizaciones numéricas

Una vez que las propagaciones de onda en $\delta\mathbf{M}_i^-$ 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 2002, Toro 2001), que producen valores negativos del calado en las ecuaciones de aguas poco profundas, incluso en ausencia de términos fuente. La solución se reconstruye por medio de una re-definición 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 2010*b*) se muestra como los errores en las aproximaciones integrales hechas sobre los términoms fuente pueden ser evitadas si se imponen restricciones con base física sobre la solución aproximada. Simplemente modificando los coeficientes "'source strength"' β las soluciones corrects se restituyen cuando resulte necesario.

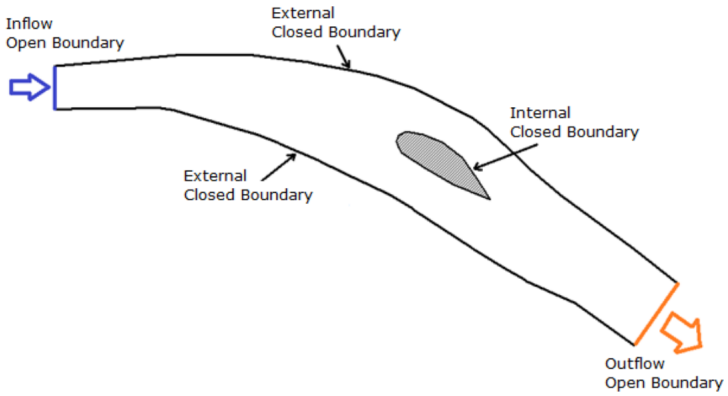


Figure 5.4 – Condiciones de contorno abiertas y cerradas.

5.4.2 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 χ_i en cada celda i tiene que considerar el volumen de la celda y la longitud de los lados k compartidos

$$\chi_i = \frac{A_i}{\max_{k=1,NE} l_k} \tag{5.17}$$

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 timepo está limitado por

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

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 resolutivo de RiverFlow2D 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 al calado. 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.

5.5 Condiciones de contorno abiertas

Existen dos tipos principales de condiciones de contorno que pueden ser usadas en RiverFlow2D: 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 realizarlo de forma que cada segmento esté separado por un hueco de una o más celdas (ver Figura 5.5). Imponer dos o más condiciones sin esta separación conllevará

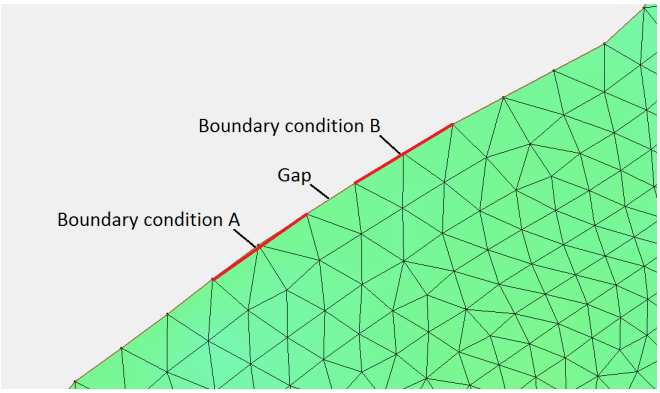


Figure 5.5 – Separación requerida entre condiciones de contorno abiertas.

una detección incorrecta de los contornos abiertos.

RiverFlow2D 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 RiverFlow2D. 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.

Table 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	

Resulta recomendable tener al menos un contorno donde la superficie del agua o el estado del caudal esté prescrito. Tener solamente caudal y no tener la superficie del agua puede derivar en inestabilidades debidas a la violación de los requisitos teóricos para las condiciones de contorno de las ecuaciones de aguas poco profundas.

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

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

TIPO DE CC	DESCRIPCIÓN
1	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 linea del contorno.
9	Se impone una tabla de valores para el caudal.
10	Condición de entrada o salida "'libre"'. Las velocidades y los niveles de agua son calculados por el modelo.
11	Condición de salida "'libre"'. 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.

5.5.1 Tipos de condición de contorno de variable única (BCTYPE 1 y 6)

Cuando se impone una única variable (nivel de agua o Q), el usuario tiene que proporcionar una serie temporal para la variable correspondiente. Si se pretente modelizar 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.

5.5.1.1 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 asumiento una dirección perpendicular a la linea de contorno, tal como se muestra a continuación:

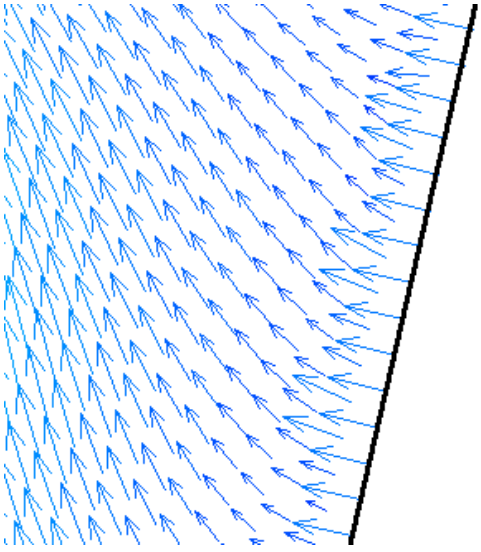


Figure 5.6 – Caudal de agua convertido en velocidades (BCTYPE 6).

5.5.2 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 fichero).

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. Por desgracia, 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 RiverFlow2D.

5.5.3 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.

5.5.4 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 modelos 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 table. 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 linea del contorno.

5.5.5 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_Γ de contorno

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

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

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

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:

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

Por lo tanto, los valores de h, u, v y ϕ tienen que ser impuestos. La concentración de soluto en el agua ϕ 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

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

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

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

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 de 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 calado 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:

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

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

$$S_T = \sum_{j=1}^{NB} S_j = \sum_{j=1}^{NB} h_j l_j \qquad , b_T = \sum_{j=1}^{NB} l_j \tag{5.25}$$

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 el calado en cada celda de contorno.

5.5.5.1 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 estacionadio o transitorio y no hay una forma obvia de implementarlo. El hidrograma del caudal total de entrada $Q = Q(t)$ es usualemente 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.

5.5.5.2 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.

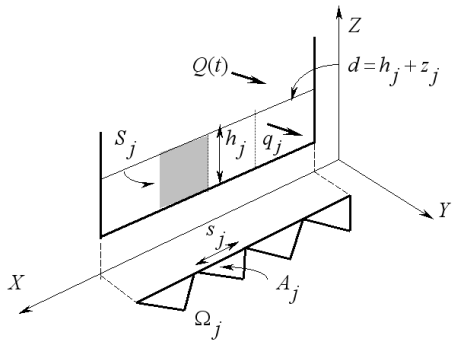


Figure 5.7 – Sección de entrada rectangular.

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, $q_I(m^2 s^{-1})$, que puede ser calculado como

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

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.

5.5.5.3 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).

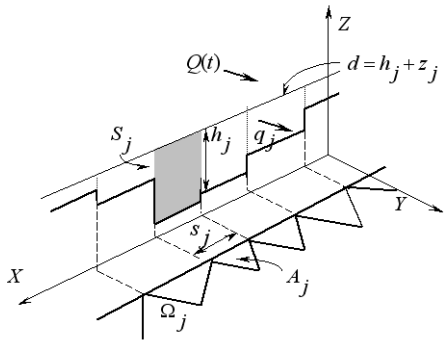


Figure 5.8 – Sección de entrada irregular.

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.

a uniform value of q_I as in (5.26) leads to a completely unrealistic state of faster water at the section borders and slower water at the middle of the cross section. 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 tranwsversal de cada celda individual, S_j, como se muestra a continuación:

$$q_j = Q_I \frac{S_j}{S_T l_j} \tag{5.27}$$

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

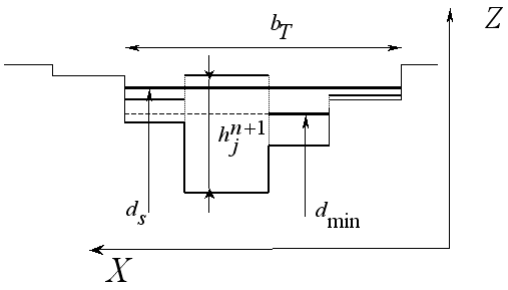


Figure 5.9 – Evaluación de d_{min}.

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 conservatica 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

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

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

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

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 3, un nuevo nivel de agua uniforme en la sección, d_S, viene dado por:

$$d_s = d_{min} + \frac{V_S}{A_w} \tag{5.30}$$

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 modeliza 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 formas 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:

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

para forzar 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 un nuevo area de la sección mojada de entrada, S_T^*, a partir de $Fr_{s,max}$:

$$S_T^* = (\frac{Q_I^2}{gFr_{s,max}^2/b_T})^{1/3} \tag{5.32}$$

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.

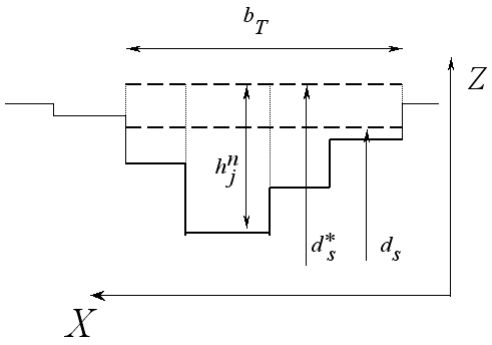


Figure 5.10 – Nuevo nivel de agua para la sección de entrada.

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.

5.5.5.4 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 RiverFlow2D, se realiza un recorrido preliminar sobre las celdas mojadas de salida para evaluar el número de Froude en celda. Si se encuentra una celda supercrítica, 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.

5.5.6 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. RiverFlow2D 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 RiverFlow2D 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_Γ es un 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 $n+1$.

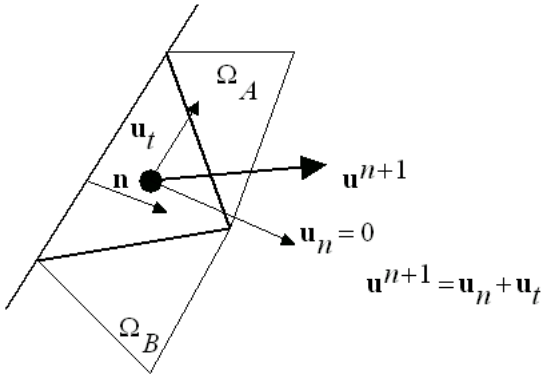


Figure 5.11 – Condición de pared sólida.

5.6 Modelizado del seco/mojado

RiverFlow2D 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 RiverFlow2D 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.

5.6.1 Definición de celdas basada en las condiciones de seco y mojado

Una celda está considerada seca si su calado 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 2010*b*).

El algoritmo de seco/mojado de RiverFlow2D 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 2010*b*) en el contexto de los voúmenes 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 asumiendo 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.

5.7 VConservación del volumen

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

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

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

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

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

$$\Delta M(\Delta t) \neq 0 \tag{5.35}$$

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

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

con la cantidad total de agua existente a tiempo t

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

como sigue

$$Error = [Vol(t + \Delta t) - Vol(t)] - \Delta M(\Delta t) \tag{5.38}$$

Normalmente, esta cantidad se expresa en términos relativos:

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

5.8 Coeficientes *n* de rugosidad de Manning

El coeficiente de Manning n, normalmente estimado para determinar las pérdida 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 debiado a que las ecuaciones del modelo 2D consideran intercambios de momento 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 debe obtener mediante un proceso de calibración donde los resultados del modelo sea ajustados a datos medidos.

5.9 Modelo de transporte de sedimentos: RiverFlow2D Módulo ST

La ciencia del transporte de sedimentos considera la inter-relación entre el agua superficial y las particulas de sedimentos. A pesar de haber sido estudiada desde 1950 y haber sido ampliamente usadas en la práctica ingenieril, (Nielsen 1992), (Julien 1998), el modelalizado del transporte de sedimentos continua siendo uno de los temas más activos de la investigación hidráulica. Aunque el modelizado 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 & Vervey 1980, De Vriend, Zyserman, Nicholson, Roelvink, Péchon & 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. Asumiendo 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 excludas. Por esta razón, RiverFlow2D permite una simulación precisa desde los eventos de evolución lenta hasta los cambios abruptos en el fondo del río.

5.9.1 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 del momento del agua. Este sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales es formulado aquí de forma acoplada como sigue:

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

donde

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

son las variables conservadas siendo h el calado 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 ϕ_p, con $p = 1, ..., N_p$, 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 $\sum_{p=1}^{N_p} \left[z_p(1-p_p) \right]$ 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

$$\begin{aligned} \mathbf{F} &= \left(\; q_x, \quad \frac{q_x^2}{h} + \frac{1}{2} g h^2 \quad q_x q_y / h, \quad q_x \phi_1, \quad \ldots \quad q_x \phi_{N_p}, \quad q_{sx} \; \right)^T \\ \mathbf{G} &= \left(\; q_y, \quad q_x q_y / h, \quad \frac{q_y^2}{h} + \frac{1}{2} g h^2 \quad q_y \phi_1, \quad \ldots, \quad q_y \phi_{N_p}, \quad q_{sy} \; \right)^T \end{aligned} \tag{5.42}$$

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

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

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 ρ_w la densidad del agua. are the pressure force along the bottom and the bed shear stress in the x and y direction respectively, with ρ_w the density of water. El primero se puede formular en términos de las pendientes del nivel de fondo z.

$$\frac{p_{b,x}}{\rho_w} = -gh\frac{\partial z}{\partial x} = ghS_{0x}, \qquad \frac{p_{b,y}}{\rho_w} = -gh\frac{\partial z}{\partial y} = ghS_{0y} \tag{5.44}$$

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

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

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

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

y es evaluado de la siguiente manera:

$$R_p = \omega_{s_p}(\phi_{*_p} - \phi_p) \tag{5.47}$$

donde el término ϕ_{*_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 ϕ_p contiene la información sobre la cantidad de sedimento en suspensión que es transportada. Ambas concentraciones tienen en cuenta la velocidad de sedimentación, ω_{s_p}.

5.9.2 Leyes de transporte de sedimento

En RiverFlow2D, 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.

5.9.2.1 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

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

Conservación del momento en la dirección x

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

Conservación del momento en la dirección y

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

Cambios en la elevación del fondo

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

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:

$$|q_s| = \sqrt{q_{sx}^2 + q_{sy}^2} \tag{5.52}$$

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

$$\Phi = \frac{|q_s|}{\sqrt{g(s-1)d_{50}^3}} \tag{5.53}$$

donde s es el ratio 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 RiverFlow2D, 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, ρ_s es la densidad de sedimento, θ_c es el parámetro de Shields crítico y θ_c^s es el parámetro de Shields crítico, tal como se expresa en Smart (1994).

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

FÓRMULA	Φ	PARÁMETROS DE ENTRADA
Meyer-Peter & Mueller (1948)	$8\left(\theta-\theta_c\right)^{3/2}$	d_{50},θ_c,ρ_s
Ashida Michiue (1972)	$17\left(\theta-\theta_c\right)\left(\sqrt{\theta}-\sqrt{\theta_c}\right)$	d_{50}, θ_c, ρ_s
Engelund and Fredsøe (1976)	$18.74\left(\theta-\theta_c\right)\left(\sqrt{\theta}-0.7\sqrt{\theta_c}\right)$	d_{50}, θ_c,ρ_s
Fernandez-Luque and van Beek (1976)	$5.7\left(\theta-\theta_c\right)^{3/2}$	d_{50}, θ_c, ρ_s
Parker fit to Einstein (1979)	$11.2\left(1-\theta/\theta_c\right)^{9/2}$	d_{50},θ_c,ρ_s
Smart (1984)	$4\left(d_{90}/d_{30}\right)^{0.2}S_0^{0.6}C\theta^{1/2}\left(\theta-\theta_c^s\right)$	d_{30},d_{50}, d_{90}, θ_c, θ_c^S, ρ_s
Nielsen (1992)	$12\theta^{1/2}\left(\theta-\theta_c\right)$	d_{50}, θ_c,ρ_s
Wong	$4.93\left(\theta-\theta_c\right)^{1.6}$	d_{50}, θ_c, ρ_s
Wong	$3.97\left(\theta-\theta_c\right)^{3/2}$	d_{50}, θ_c, ρ_s
Camenen-Larson	$12\theta^{3/2}exp\left(-4.5\theta_c/\theta\right)$	d_{50}, θ_c, ρ_s

La suma $\sum_{p=1}^{N_p}\left[z_p(1-p_p)\right]$ 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}) asociadio 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.

5.9.3 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, asumiendo 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 fichero 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 fichero 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 fichero 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^3/s ó ft^3/s. Las dos últimas columnas contienen el caudad de sedimento para cada fracción dada en m^3/s ó ft^3/s.

5.9.4 Sedimento en suspensión

Cuando el sedimento en suspensión juega el papel pincipal 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

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

Conservación del momento en la dirección x

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

Conservación del momento en la dirección y

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

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

$$\frac{\partial(h\phi_p)}{\partial t} + \frac{\partial(hu\phi_p)}{\partial x} + \frac{\partial(hv\phi_p)}{\partial x} = \omega_{s_p}(\phi_{*_p} - \phi_p) \tag{5.57}$$

El término ϕ_{*_p} define la concentración del volumen de equilibrio, la cual se obtiene mediante un ley de descarga para el transporte sólido. El término ϕ_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, ω_{s_p}. 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 RiverFlow2D. 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 ω_{sm} ((Sha 1965))

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

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

Table 5.4 – Fórmulas para calcular la velocidad de sedimentación ω_s.

FÓRMULA	ω_s	OBSERVACIONES
Rubey (1933)	$\omega_s = F\sqrt{\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right) g d_s}$	If $d_s > 1$ mm, $F = 0.79$, otherwise $F = \left(\frac{2}{3} + \frac{36\nu^2}{g d_s^3 (\rho_s/\rho_w - 1)}\right)^{0.5} - \left(\frac{36\nu^2}{g d_s^3 (\rho_s/\rho_w - 1)}\right)^{0.5}$
Zhang (1961)	$\omega_s = \sqrt{\left(13.95\frac{\nu}{d_s}\right)^2 + 1.09\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right) g d_s} - 13.95\frac{\nu}{d_s}$	Valid for a wide range of 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

Continued on next page

Table 5.4 – continued from previous page

FÓRMULA	ω_s	OBSERVACIONES
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)	$\omega_s = \frac{\nu}{d_s}\left(\sqrt{25 + 1.2 D_*^2} - 5\right)^{1.5}$	$D_* = d_s \left((\rho_s/\rho_w - 1)\, g/\nu^2\right)^{1/3}$
Jiménez-Madsen (2003)	$\omega_s = (C_1 + C_2 S_*)\sqrt{(s-1) g d_s}$	C_1, C_2 and S_* as in Jiménez-Madsen
Wu-Wang(2006)	$\omega_s = \frac{M\nu}{N d_s}\left(\sqrt{\frac{1}{4}\left(\frac{4N}{3M^2} D_*^3\right)^{1/n}} - 0.5\right)^n$	M, N and n as in Wu and $D_* = d_s \left((\rho_s/\rho_w - 1)\, g/\nu^2\right)^{1/3}$

5.9.4.1 Fórmulas para el sedimento en suspensión

Tal y como se ha mencionado antes, el término ϕ_{*_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:

$$\phi_{*p} = \begin{cases} 0 & \theta < \theta_c \\ \dfrac{q_{susp_p}}{hu} & \theta \geq \theta_c \end{cases} \tag{5.59}$$

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:

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

  siendo τ_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

$$\tau_b = \frac{g n^2 |u|^2}{h^{1/3}} \tag{5.61}$$

- 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,

$$q_{susp_p} = \int_{h_s}^{h} \phi_m u dh \tag{5.62}$$

  donde, q_{susp} es expresado como volumen por unidad de tiempo y los términos ϕ_m y h_s han sido definidos como

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

con

$$\phi_s = \frac{0.117}{d_s}\left[\frac{\nu^2}{(s-1)g}\right]^{1/3}\left(\frac{\theta}{\theta_c}-1\right) \tag{5.64}$$

$$h_s = 0.3 d_s\left[d_s\left(\frac{(s-1)g}{\nu^2}\right)^{1/3}\right]^{0.7}\sqrt{\frac{\theta}{\theta_c}-1} \tag{5.65}$$

donde θ es el esfuerzo cortante no dimensional, calculado usando (5.66) y (5.67) y estña relacionado con n, el coeficiente de rugosidad de Manning, θ_c es el parámetro de Shields, d_s es el diámetro del sedimento, s es el ratio entre densidades, $s = \frac{\rho_s}{\rho_w}$ y ν es la viscosidad cinemática.

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

con

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

En la ecuación (5.63), U_* es la velocidad de fricción definida como $U_* = \sqrt{\tau_b}$ y κ es la constante de Von-Karman $\kappa \approx 0.41$.

5.9.5 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 fichero 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^3/s ó ft^3/s. La tercera y cuarta columnas indican las concentraciones de volumen de sedimento para cada una de las dos fracciones dadas, respectivamente.

5.9.6 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 RiverFlow2D, el efecto del colapso geomorfológico se introduce en la simulación mediante un mecanismo simple de conservación de la

masa de la ladera deslizante, asumiendo que el ángulo de reposo del material sumergido del fondo puede ser aproximado por el ánguloi 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 2010*a*).

5.9.7 Solución numérica en volúmenes finitos del transporte de sedimentos

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

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_{\Omega}\mathbf{U}d\Omega+\oint_{\partial\Omega}\mathbf{En}dl=\int_{\Omega}\mathbf{S}d\Omega+\int_{\Omega}\mathbf{R}d\Omega \tag{5.68}$$

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

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

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

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.

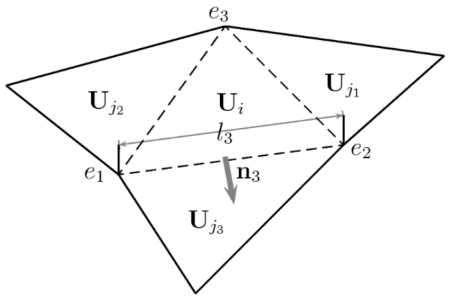


Figure 5.12 – Parámetros de la celda.

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

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

La ecuación (5.69) se escribe como

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

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

5.9.8 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 *Sediment Transport* en el programa de entrada de datos (Data Input Program) de RiverFlow2D.

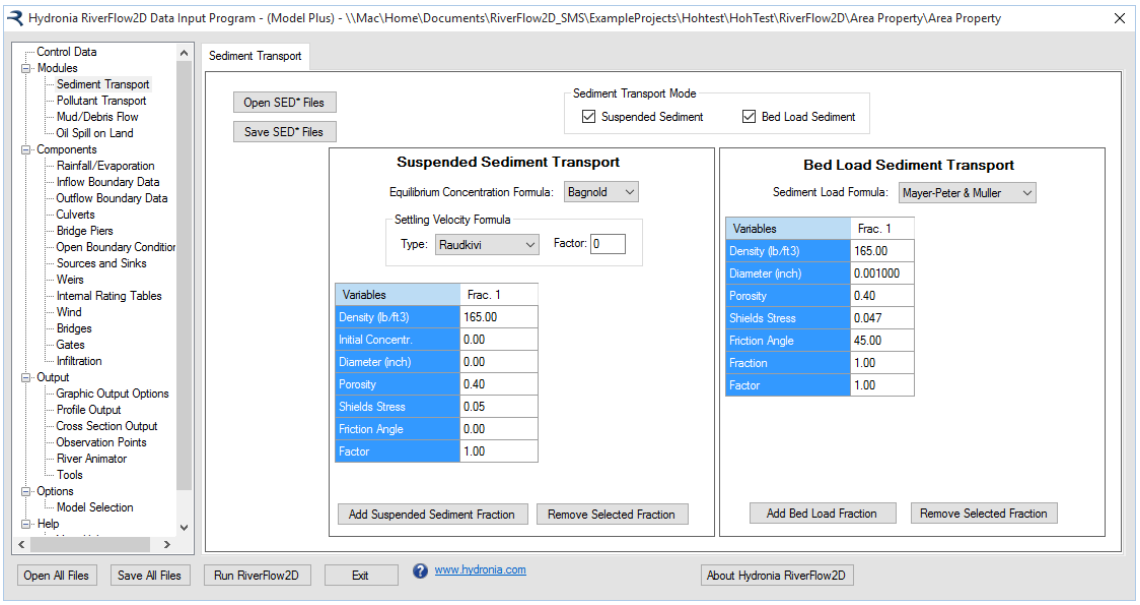


Figure 5.13 – Panel de transporte de sedimentos de RiverFlow2D.

5.9.9 Suposiciones del modelo de transporte de sedimentos

Las principales suposiciones que se realizan en la versión actual de RiverFlow2D 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} and D_{90}).
- El modelo no tiene en cuenta el bed armoring.
- 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.

5.10 Modelo de flujo de lodo y escombros: Módulo MD de RiverFlow2D

Las inundaciones de lodos/escombros 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/escombros 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 RiverFlow2D 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.

5.10.1 Suposiciones del modelo de flujo de lodo y escombros

El modelo incluye las siguientes suposiciones:

- El flujo está confinado en una capa delgada comparada con la escala horizontal de interes.
- 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 asumiendo la misma velocidad para el líquido y para la fase sólida.
- El fondo del río no se erosiona.
- El fluido se asume como una única fase homogénea, mezcla de agua y sedimento y tiene propiedades constantes: e.g. densidad, esfuerzo de fluencia, etc.

5.10.2 Formulación reológica

La formulación de fase única en RiverFlow2D MD tiene en cuenta los diferentes términos de fricción que representan una varidad 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 las misma fórmula matemática a pesars de tener una naturaleza diferente. De este modo, se pueden considerar varios esfuerzos cortantes para cubrir un amplia rango de condiciones de flujo de lodos y escombros, incluyendo:

- Esfuerzo turbulento τ_t
- Esfuerzo dispersivo τ_d
- Esfuerzo de fricción de tipo Coulomb τ_f
- Esfuerzo de fluencia (yield stress) τ_y and
- Esfuerzo viscoso τ_μ

Las ecuaciones que describen las fuerzas tangenciales generadas por los esfuerzos involucran al esfuerzo turbulento τ_t, esfuerzo dispersivo τ_d, esfuerzo de fricción de tipo Coulomb τ_f, esfuerzo de fluencia τ_y y esfuerzo viscoso τ_μ. No todos los esfuerzos actúan simultaneamente en la misma

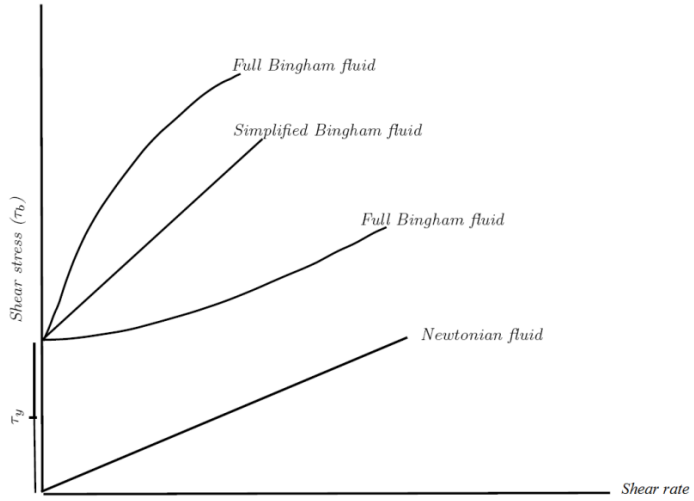


Figure 5.14 – Diagrama reológico de algunas formulaciones no-newtonianas comunes.

localización de la columna de agua. Sin embargo, dado que el modelo conceptual de RiverFlow2D 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 τ_b se expresa en función de la velocidad promediada en la vertical u y el calado h como

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

Un fluido de Bingham no fluye hasta que se supera un cierto valor umbral (el esfuerzo de fluencia τ_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 τ_b se puede obtener a partir de la siguiente fórmula cúbica:

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

y en los casos en los que el ratio de esfuerzos τ_y/τ_b sea más pequeño que 0.5, se puede reducir a

$$\tau_b = \frac{3}{2}\tau_y + 3\tau_\mu \tag{5.74}$$

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

$$\tau_b = \tau_f = g\rho h \cos\theta \tan\theta_b \tag{5.75}$$

donde θ es el ángulo de la pendiente de fondo y θ_b es el ángulo de fricción del material sólido. Adicionalmente, si τ_b solamente incluye efectos dispersivos y turbulentos cerca del fondo, se puede usar un coeficiente c_f:

$$\tau_b = \tau_t = \rho c_f u^2 \tag{5.76}$$

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

$$\tau_b = f(\tau_t, \tau_d, \tau_y, \tau_\mu, \tau_f) \tag{5.77}$$

La Tabla 5.5 muestra las leyes de fricción reológica disponibles en RiverFlow2D MD. Las relaciones de tipo Bingham incluyen la formulación standard cúbica

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

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 asume un valor standard de $\kappa = 24$

Table 5.5 – Formulaciones de resistencia de flujo reológico empleadas en RiverFlow2D MD.

FORMULACIÓN	**TÉRMINO DE RESISTENCIA DE FLUJO**	**PARÁMETROS DE ENTRADA**
Turbulenta	$\tau_b = \tau_t$	Coeficiente n de Manning
Bingham completa	$\tau_b = \tau_0$ con $2\tau_0^3 - 3(\tau_y + 2\mu q/h^2)\tau_0^2 + \tau_y^3 = 0$	Viscosidad de Bingham, Esfuerzo de fluencia (Yield Stress), Densidad
Bingham simplificada	$\tau_b = 1.5\tau_y + 3\tau_\mu$, $\tau_\mu = \mu q/h^2$	Viscosidad de Bingham, Esfuerzo de fluencia (Yield Stress), Densidad
Turbulenta y Coulomb	$\tau_b = \tau_t + \tau_f$	Coeficiente n de Manning, Ángulo de fricción, Densidad
Turbulenta y Fluencia (Yield)	$\tau_b = \tau_t + \tau_y$	Coeficiente n de Manning, Esfuerzo de fluencia (Yield Stress)
Turbulenta, Coulomb y Fluencia (Yield)	$\tau_b = \tau_t + min\left(\tau_y, \tau_f\right)$	Coeficiente n de Manning, Esfuerzo de fluencia (Yield Stress), Ángulo de fricción, Densidad
Cuadrática	$\tau_b = \tau_t + \tau_y + \frac{\kappa}{8}\tau_\mu$	Coeficiente n de Manning, Esfuerzo de fluencia (Yield Stress), Ángulo de fricción, Densidad
Granular	$\tau_b = \tau_f = g\rho h\ \cos\theta\ \tan\theta_b$	Coeficiente n de Manning $n = 0$, Ángulo de fricción

5.10.3 Introduciendo los datos para el modelo de flujo de lodos y escombros

Para introducir los datos para una simulación de flujo de lodos y escombros el usuario deberá emplear el panel *Mud/Debris Flow* en el RiverFlow2D Data Input Program. También es necesario que la casilla *Mud/Debris Flow* esté marcada en el panel *Control Data*.

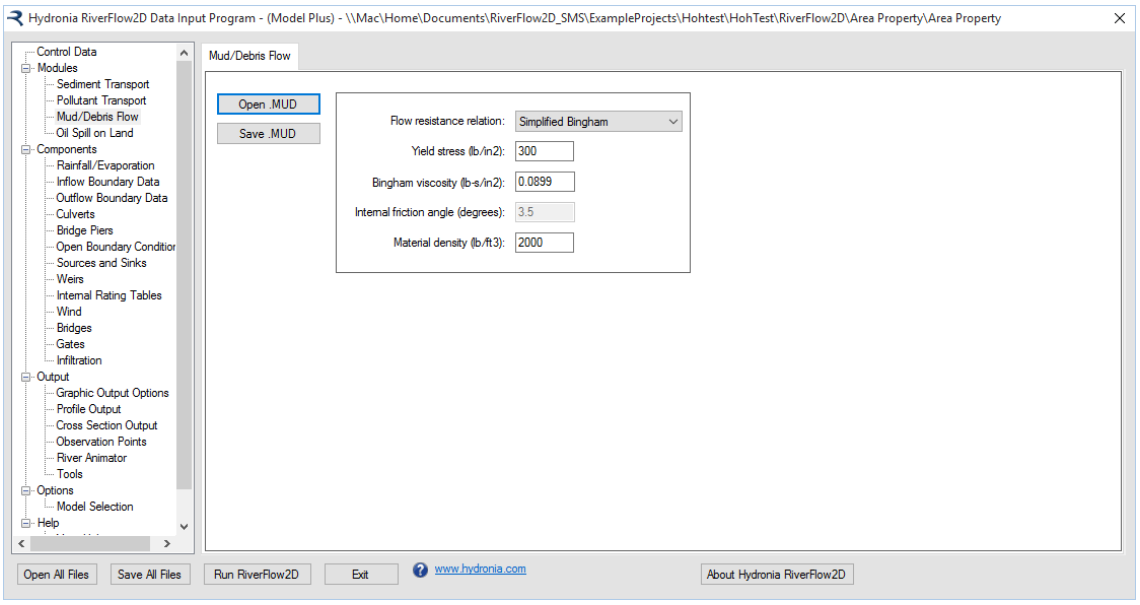


Figure 5.15 – Panel Mud/Debris Flow de RiverFlow2D.

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.

5.11 Modelo de transporte de contaminante: Módulo PL de RiverFlow2D

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 RiverFlow2D 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 focaliza 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 reaccicón con el agua y con otros solutos.

5.11.1 Ecuaciones del modelo

Aunque el módulo PL de RiverFlow2D 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, asumiendo que las velocidades y el calado 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:

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

donde

$$\mathbf{U} = (h, q_x, q_y, h\phi)^T$$

$$\mathbf{F} = \left(q_x, \tfrac{q_x 2}{h} + \tfrac{1}{2}gh2, \tfrac{q_x q_y}{h}, h\phi u\right)^T, \qquad \mathbf{G} = \left(q_y, \ \tfrac{q_x q_y}{h}, \ \tfrac{q_y 2}{h} + \tfrac{1}{2}gh2, \ h\phi v\right)^T \tag{5.80}$$

$$\mathbf{H} = (0, \ gh(S_{0x} - S_{fx}), \ gh(S_{0y} - S_{fy}), \ 0)^T$$

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

$$\mathbf{R} = (0, 0, 0, -Kh\phi)^T \qquad \mathbf{D} = \left(0, 0, 0, \overrightarrow{\nabla}(Dh\overrightarrow{\nabla}\phi)\right)^T \tag{5.81}$$

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

5.11.2 Solución numérica en volúmenes finitos del transporte de contaminantes.

En RiverFlow2D, el transporte de solutos ha sido considerado dejando a un lado la consideración sobre 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 diffusión o la resolución implícita de la difusión (Murillo, Burguete, Brufau & García-Navarro 2005, Murillo, García-Navarro & Burguete 2008) ¿Esto tiene sentido? Se dice que no se tiene en cuenta la difusión y luego que si??

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, RiverFlow2D 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 4×4 para el modelo 2D. Sobre esta base, podemos aplicar el procedimiento descrito anteriomente, 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 RiverFlow2D

una redistribución conservativa de los flujos máximos de soluto, como la propuesta en (Murillo, García-Navarro & Burguete 2012).

De acuerdo con (Murillo et al. 2012), 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,

$$q_k^{\downarrow} = q_i + \sum_{m=1}^{3} \left(\widetilde{\lambda}^{-} \ \widetilde{\gamma} \ \widetilde{\mathbf{e}}_1 \right)_k^m \tag{5.82}$$

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

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

donde

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

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).

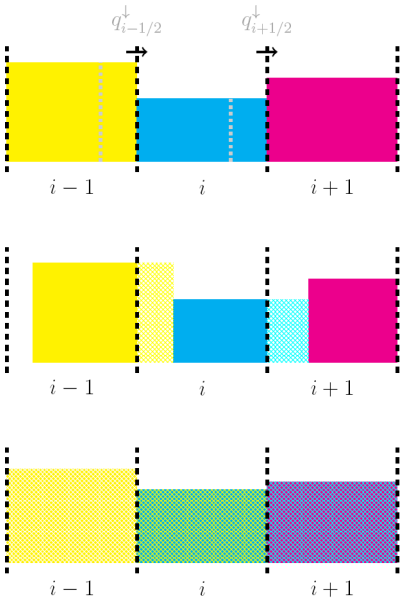


Figure 5.16 – Representación física del intercambio de masa de soluto entre celdas con $q^{\downarrow}_{i-1/2}, q^{\downarrow}_{i+1/2} > 0$.

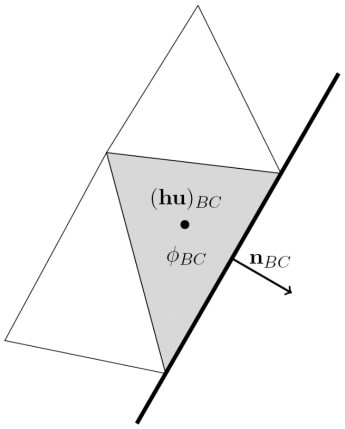


Figure 5.17 – Extracción de masa de soluto en una celda de contorno de salida.

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.

As shown, the formulation reduces to compute a class of numerical flux $q^{\downarrow}$ using the already computed averaged values at each edge for the hydrodynamic pa*Pollutant Transport* tabrt ¿y esto?. Apart from ensuring a perfect conservation and bounded free-oscillatory solutions (Murillo et al, 2012), this simply discretization decreases substantially the number of computations that would be necessary for the complete coupled system.

5.11.3 Introduciendo los datos para el modelos de transporte de contaminantes

Para introducir los datos para una simulación con transporte de contaminantes, el usuario debará emplear la pestaña *Pollutant Transport* en el diálogo *Global Parameters*, accesible desde el menú de RiverFlow2D. El usuario también deberá asegurarse de que la casilla "'Pollutant Transport"' está activa en la pestaña "'Control Data"'.

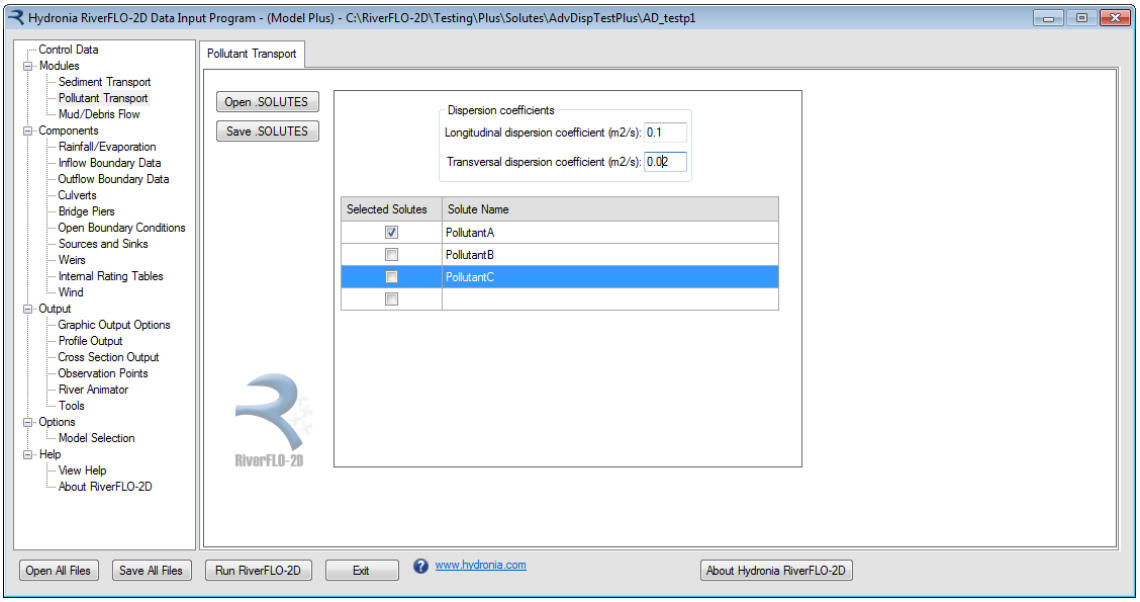


Figure 5.18 – Pestaña *Pollutant Transport* de RiverFlow2D.

5.11.4 Suposiciones del modelo de transporte de contaminantes

Las principales suposiciones realizadas en la versión actual de RiverFlow2D 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 RiverFlow2D CPU

El código de RiverFlow2D 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, RiverFlow2D 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 conrespecto 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 RiverFlow2D GPU

La verisón GPU del modelo RiverFlow2D ofrece ganancias sorprendentes que reducen considerablemente el tiempo computacional. RiverFlow2D 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 RiverFlow2D para controlar la conservación del volumen (errores del orden de 10^{-14}%) en la modelización numérica de los frentes de seco/mojoado 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 en factore de hasta 150X cuando se compara con la versión CPU no paralelizada (1 núcleo). La Figura 6.2

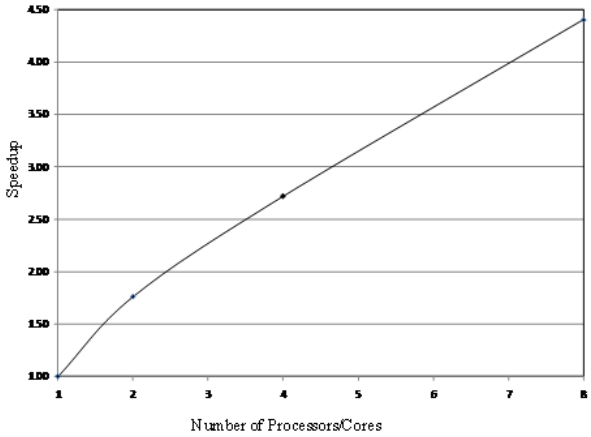


Figure 6.1 – Ganancia (Speed up) usando el código paralelizado de RiverFlow2D como una función del número de núcleos del procesador.

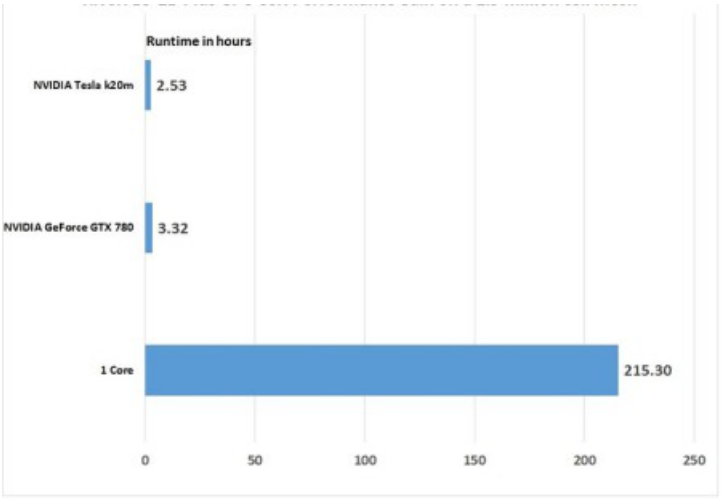


Figure 6.2 – Ganancia (Speed up) usando el código paralelizado de RiverFlow2D en función del número de núcleos del procesador.

muestra los tests de eficiencia usando tecnología reciente de hadrware GPU, que demuestran que las técnicas de paralelización implementadas en RiverFlow2D GPU pueden redicir sensiblemente el tiempo computacional.

7

Componentes hidráulicas e hidrológicas

Los componentes de RiverFlow2D son condiciones de contorno internas que pueden ser usadas oara 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-lineas:

- **Puentes:** se consideran puentes de geometría general incluyendo flujo a presión y "'overtopping"'.
- **Tablas de distribución interna:** 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 el calado.

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 simplificadas.
- **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

RiverFlow2D 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. Es ese caso, el modelo calculará el flujo alrededor del pilar y tendrá en cuenta el rozamiento zon 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 RiverFlow2D basándose en los datos proporcionados por el usuario en el Data Input Program de RiverFlow2D. Para realizar una simulación con la componente de puentes, el usuario deberá seleccionar la opción en el panel *Control Data*, tal como se muestra en la Figura 7.1.

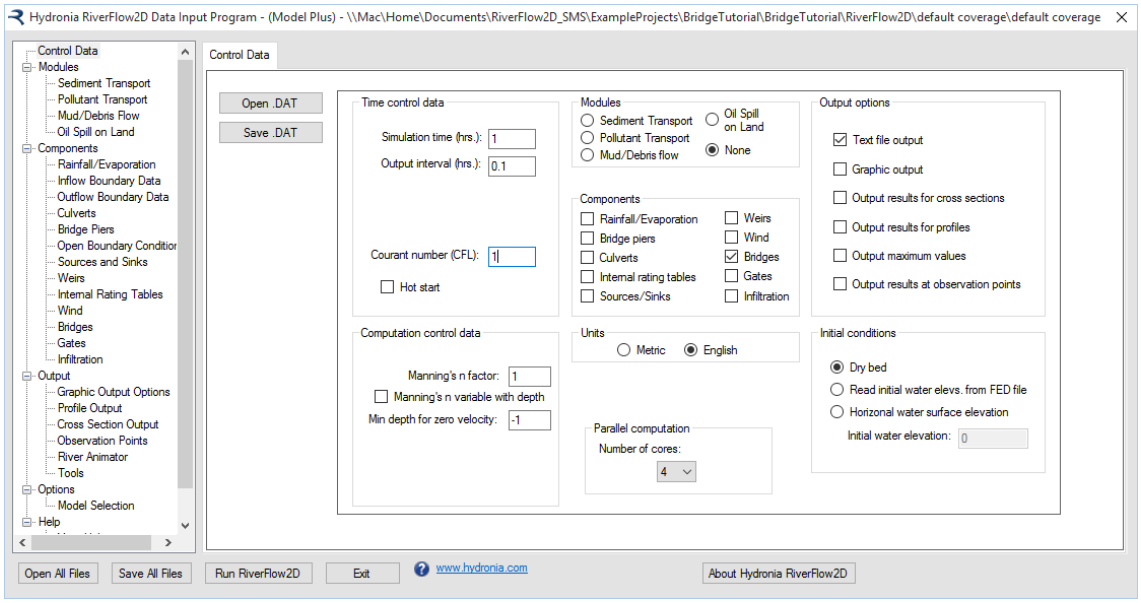


Figure 7.1 – Panel *Control Data* de RiverFlow2D con la componente de puentes seleccionada.

Los datos en planta del puente son introducidos en el modelo conceptual de SMS. Para crear un puente, el usuario deberá asegurarse primero de que la capa en donde se ha definido el contorno del cominio esté activa. Después, se ha de crear una polilinea que definirá la geometría en plano del puente, haciendo click en cada vértice hasta que se alcance el punto final deseado para la linea, en donde se hará doble click para finalizar.

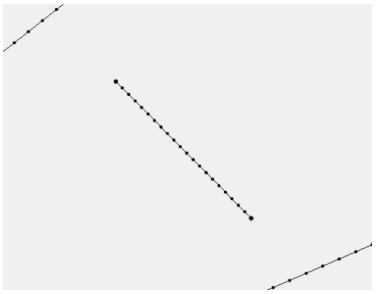


Figure 7.2 – Polilinea del puente.

Posteriormente, el usuario ha de seleccionar la polilinea mediante la herramienta "'Select Feature Arch"' y hacer click derecho para redistribuir los vértices sobre la misma. Mientra la polilinea está seleccionada, hacer click derecho en el arco y seleccionar *Attributes....* En el diálogo *Feature arc Attributes*, seleccionar *Boundary conditions* y hacer click en *Options...*

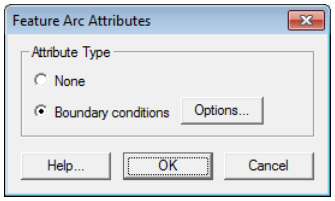


Figure 7.3 – Atributos del arco.

En el diálogo *Boundary Conditions*, seleccionar la componente *Bridges* e introducir cualquier texto que sirva como identificador (BridgeID) y el nombre del archivo de geometría del puente que contenga los datos de geometría del puente y se explicará en la siguiente sección.

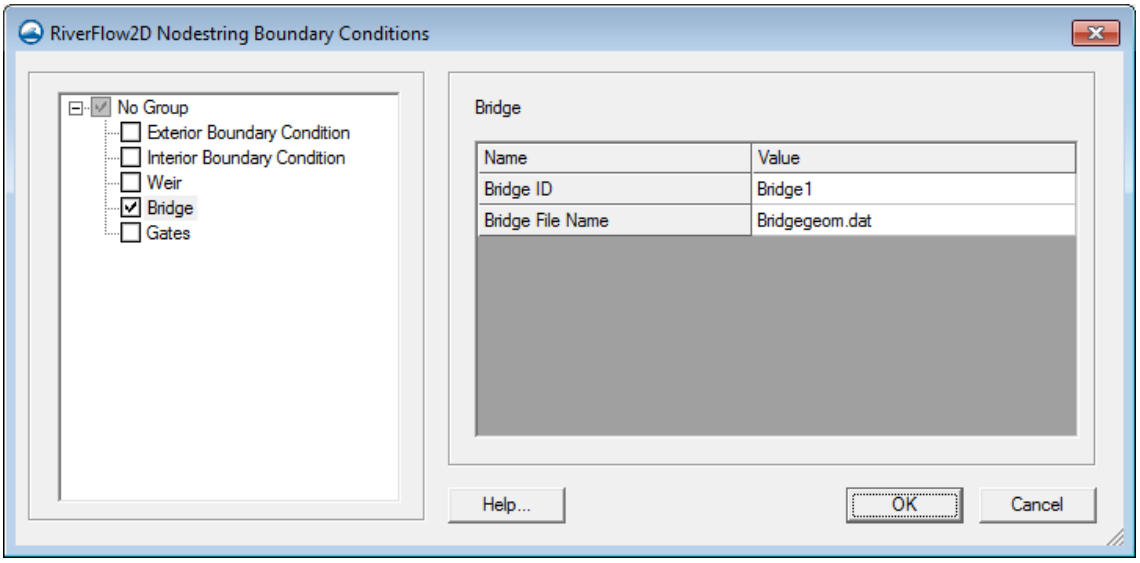


Figure 7.4 – Diálogo del puente.

Dado que la polilinea del puente tiene que pasar por los nodos, resulta esencial que el motor de generación de la malla cree nodos a lo largo de la misma. Esto se realiza de forma sencilla rehaciendo la malla mediante el comando *Feature Objects/Map → 2D Mesh.*

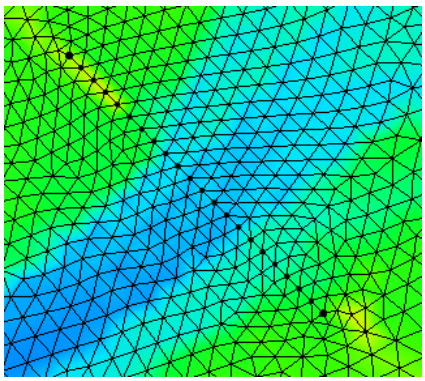


Figure 7.5 – Polilinea del puente sobre la malla.

Nota: No hay límite en el número de puentes que se pueden modelizar.

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. It is defined by four polylines and the fined in five columns as follows:

Linea 1: Número de puntos que definen las polilineas.

NP

NP lineas 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 polilineas ha de ser la siguiente:

- **Para todas las estaciones, STATION(I) $\leq$ STATION(I+1)**
- **BEDELEV $\leq$ ZLOWER $\leq$ LOWCHORD $\leq$ DECKELEV**
- **Para una linea 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 fichero de sección transversal del puente

La siguiente tabla es un ejemplo de fichero de geometría que representa esquemáticamente el puente en 7.6.

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

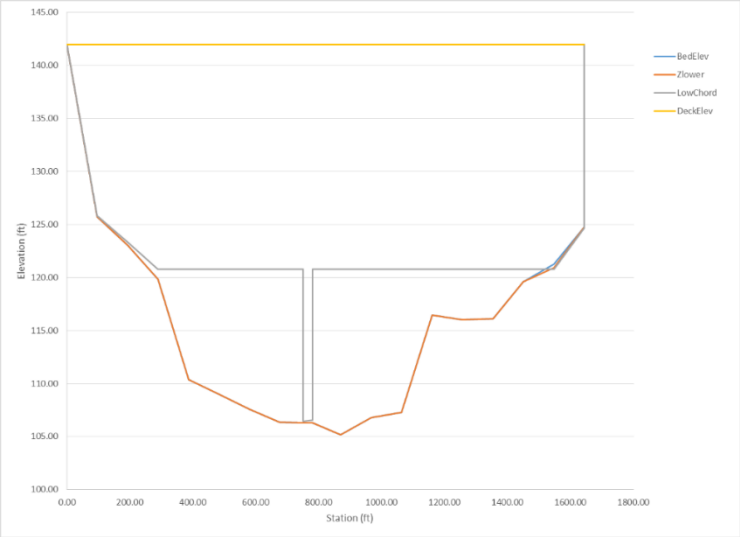


Figure 7.6 – Vista frontal del la sección transversal del un puente.

Table 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 polilineas en un punto dado.
DECKELEV	R	-	m ó ft	Elevación del tablero del puente. Tiene que ser la elevación más alta de todas las polilineas 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 polilineas de la sección transversal.
STATION	R	-	m ó ft	Distancia desde el punto situado más a la izquierda de los que definen la polilinea de la sección transversal. Todos los puntos de polilineas tienen que tener una estación común.
ZLOWER	R	-	m ó ft	Elevación de la polilinea 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 modelizar 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

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

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 $\mathbf{S}_f$

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

está relacioneado con el esfuerzo de corte del fondo $\tau_{f,x}, \tau_{f,y}$ en las direciones x e y, respectivamente, siendo ρ la densidad del fluido.
El último término, $\mathbf{S}_b$ se refiere a las pérdidas locales de energía debidas a otros procesos,

$$\mathbf{S}_b = (0,\ -ghS_{b,x}, -ghS_{b,y})^T \tag{7.3}$$

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 comunmente como una extensión de la formulación 1D. La misma aproximación se aplica en RiverFlow2D 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 momento. Los modelos empíricos para las pérdidas energéticas debidas al puente se describen a continuación:

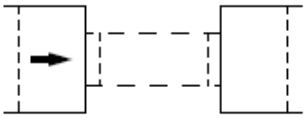


Figure 7.7 – Visión en planta de un puente mostrando la sección transversal de interés. Por simplicidad, solamente se muestran dos pilares.

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, ΔH_{BC}, y representa la energía mecánica total del flujo. En un marco 1D, la pérdida de altura de presión ΔH_{BC} se expresa como sigue

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

donde ΔH_c y ΔH_e son las pérdidas de contracción y expansión, respectivamente

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

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 7.7. 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.

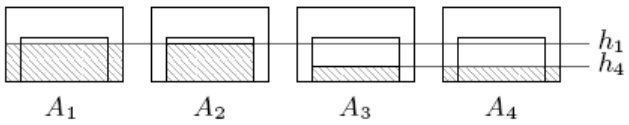


Figure 7.8 – Ejemplo simple de A_1,A_2, A_3 y A_4 empleado para calcular la pérdida de altura de presión en puentes de superficie libre.

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

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

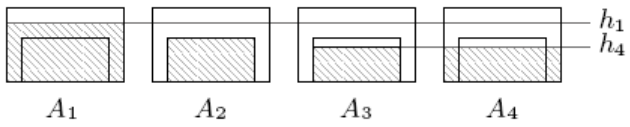


Figure 7.9 – Ejemplo simple de A_1,A_2, A_3 y A_4 empleado para calcular la pérdida de altura de presión en puentes parcialmente sumengidos.

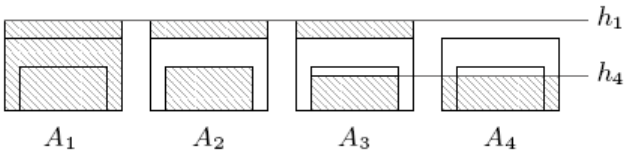


Figure 7.10 – Ejemplo simple de A_1,A_2, A_3 y A_4 empleado para calcular la pérdida de altura de presión en puentes completamente sumengidos.

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 7.8 muestra un esquema de las áreas consideradas en el caso de superficie libre, la Figura 7.9 muestra las áreas equivalente para puentes parcialmente sumergidos y la Figura 7.10 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-balance"' en casos estacionarios con velocidad. Para ello, resulta necesario definir $\mathbf{S}_{\mathbf{n}b}$ en la pared del RP donde está el puente. El termino fuente $\mathbf{S}_{\mathbf{n}b}$ se formula como

$$(\mathbf{S}_{\mathbf{n}b})_k = \begin{pmatrix} 0 \\ -g\widetilde{h}\ \delta H n_x \\ -g\widetilde{h}\ \delta H n_y \end{pmatrix}_k \tag{7.7}$$

con

$$\delta H = \Delta H \frac{\widetilde{\mathbf{u}}\mathbf{n}}{|\widetilde{\mathbf{u}} \cdot \mathbf{n}|} \tag{7.8}$$

donde ΔH es el término de pérdida singular usado para representar puentes.

El cálculo de ΔH en una malla real se realiza como se explica a continuación. El puente se define en las paredes de las celdas (linea remarcada en la Figura 7.11), y las celdas a ambos lados de estos ejes son consideradas para formar parte de dos seccionees transversales Γ_L y Γ_R (celdas con lineas en la Figura 7.11). 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 presíon son promediadas a partir de los valores en las celdas corresondientes a las secciones aguas arriba y aguas abajo, tal como se muestra en la Figura 7.11. El caudal se calcula como

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

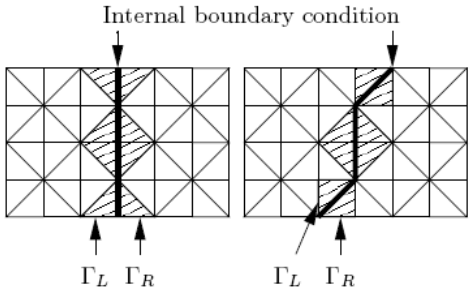


Figure 7.11 – Applicación del esquema en mallas de celdas triangulares. Normal bridge (left) and oblique bridge (right).

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

$$d_{\Gamma_L} = \frac{\sum_{k\in\Gamma_L} d_k l_k}{\sum_{k\in\Gamma_L} l_k} \qquad d_{\Gamma_R} = \frac{\sum_{k\in\Gamma_R} d_k l_k}{\sum_{k\in\Gamma_R} l_k} \tag{7.10}$$

teniendo en cuenta las celdas con $h > 0$. Los signos de Q_{Γ_L} y Q_{Γ_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 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 direrentes 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 Δ_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 1934*b*) y (Yarnell 1934*a*), 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 perpenidular 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) realizaó simulaciones numéricas para confirmar los experimentos de Yarnell usando pilares con los mismos ratios de anchura:longitud y con un amplio rango de caudales (ver Figura 7.12).

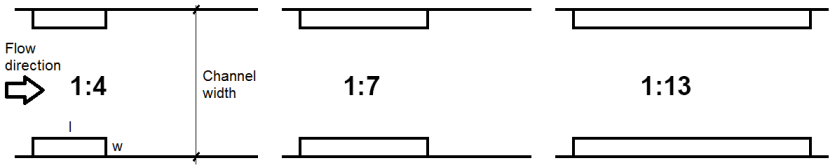


Figure 7.12 – Proporciones de las pilas de los puentes usadas para estudiar la influencia de la anchura de la estructura.

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 7.13).

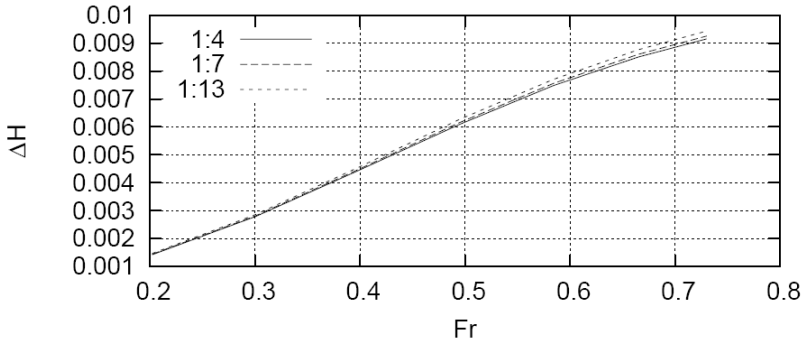


Figure 7.13 – Influencia de la anchura de la estructura en el cambio de la altura de presión total (ΔH) a través del puente como una función del número de Froude aguas abajo.

7.2 Pilares de los puentes

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

Para realizar una simulación con la componente de pilares de los puentes, el usuario deberá seleccionar la opción en el panel *Control Data* del Data Input Program de RiverFlow2D tal como se muestra en la Figura 7.14.

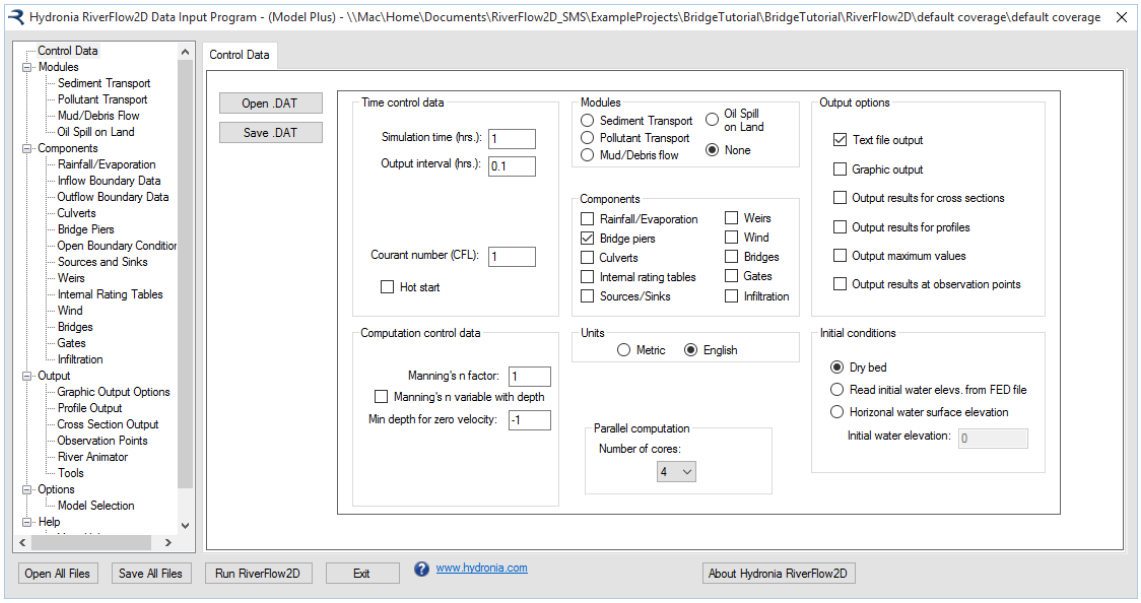


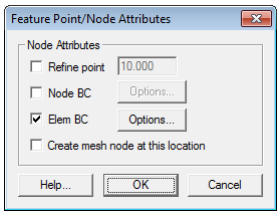
Figure 7.14 – Diálogo *Control Panel* de RiverFlow2D con la componente de pilares de los puentes seleccionada.

Los datos de los pilares de los puentes se introduce en la capa del modelo conceptual de SMS. Para crear un pilar, el usuario deberá asegurarse primero de que la componente de pilares está activa y, posteriormente, seguir estos pasos:

- Hacer click en el icono "'Create Feature Point"' y click en la localización donde se desee

introducir el pilar del puente

- Hacer click en el icono "'Select Feature Point"' y click en el punto introducido en el paso anterior
- En el menú "'Feature Objects"', click en "'Attributes..."'
- Seleccionar "'Elem BC"' y hacer click en el botón "'Options..."':



- Seleccionar "'Pier"', introducir el nombre del pilar y otros datos, como se muestra a continuación:

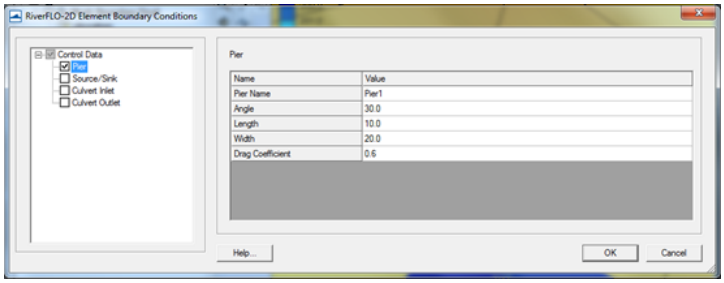


Figure 7.15 – Diálogo con los datos del pilar del puente.

Nota: No hay límite en el número de pilares de puente que se pueden modelizar.

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):

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho U^2 A_P \tag{7.11}$$

donde C_D es el coeficiente de arrastre del pilar, ρ 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 figural:

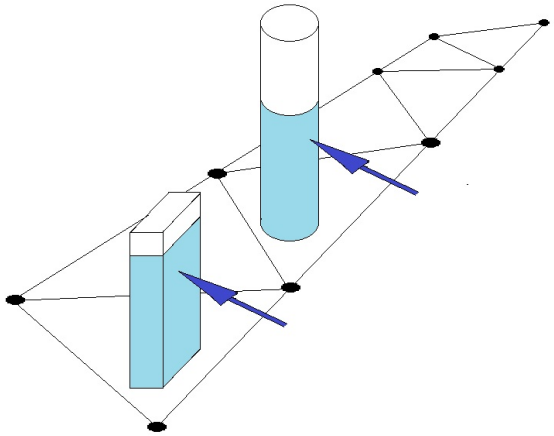


Figure 7.16 – Pilares en el interior de las celdas.

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:

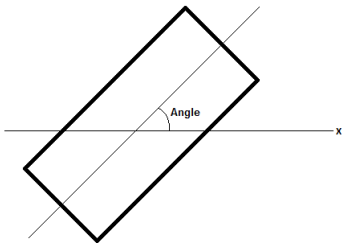


Figure 7.17 – Vista esquemática de un pilar rectangular.

La magnitud del vector velocidad y el ángulo de aproximación

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, RiverFlow2D 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:

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

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

donde A_e es el área del elemento.

7.3 Componente de alcantarillas

La componente de alcantarillas en RiverFlow2D 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 *Control Data* del diálogo "'Data Input Program"' de RiverFlow2D, tal como se muestra en la Figura 7.18.

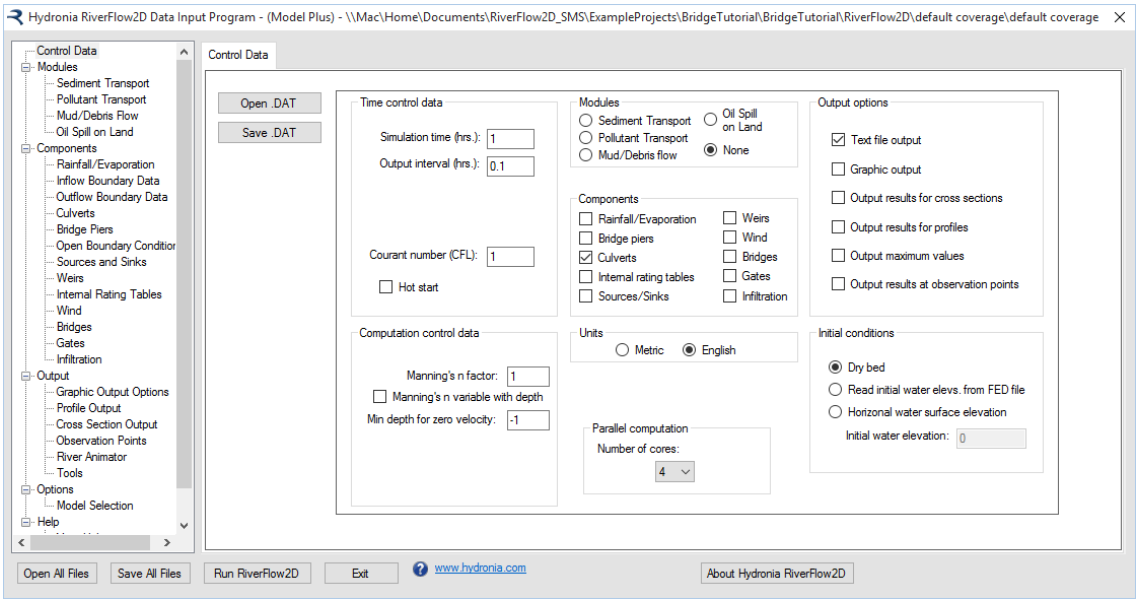


Figure 7.18 – Diálogo *Global Parameters* de RiverFlow2D con la componente de alcantarillas seleccionada.

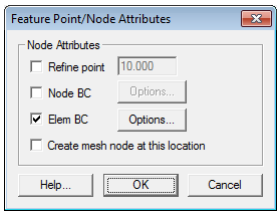
Los datos de la alcantarilla se introducen en la capa del modelo conceptual de SMS:

1. Click en el icono *Create Feature Point* y después click en la localización donde se quiera introducir el punto de entrada.

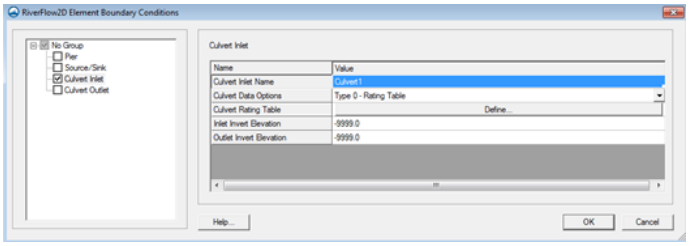
2. Click en el icono *Select Feature Point* y click derecho en el punto introducido en el paso anterior.

3. En el menú *Feature Objects*, click en *Attributes...*

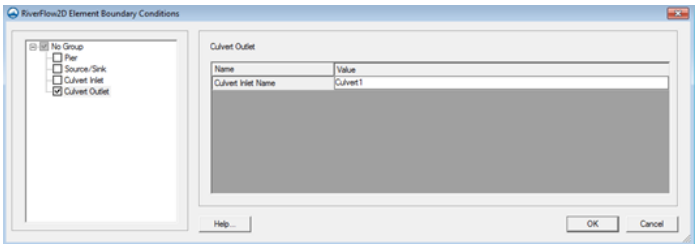
4. Seleccionar *Elem BC* y click en el botón *Options...*:



5. Seleccionar *Culvert*, introducir el nombre o ID de la alcantarilla (e.g. Culvert1) e introducir los datos adicionales dependiendo de la formulación deseada.



6. Posteriormente, seleccionar el elemento de salida de la alcantarilla (Culvert Outlet Element) e introducir el "'Culvert Inlet Name"':



7. Antes realizar la simulación, el usuario deberá asegurarse de que la componente de alcantarillas (Culverts) se encuentra seleccionada en el diálogo de parámetros globales (*Global Parameters*).

Hay dos opciones en RiverFlow2D para calcular el caudal en la alcantarilla. Cuando el usuario selecciona el cálculo mediante una tabla de distribución (Rating Table) y la proporciona en un archivo asociado, el modelo determina el caudal mediante interpolación como una función del calado 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.

Nota: 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 distribución o "'Rating Table"' (CulvertType = 0)

Cuando el usuario proporciona una tabla de distribución (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 "'rating table"' usando el calado en la entrada de la alcantarilla.
3. Si el calado a la entrada de la alcantarilla es menor que el valor mínimo en la "'rating table"', el caudal se asumirá como cero.
4. Si el calado a la entrada es más alto que el valor máximo en la "'rating table"', el caudal se asumirá igual que el correspondiente al calado máximo.

5. El caudal calculado se sustraerá del elemento de entrada y se añadirá al elemento de salida, asumiendo una transmisión instantánea del volumen de agua.

7.3.2 Cálculo de alcanterillas usando las características de la alcantarilla (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). Later Froehlich (2003) re-estableció el algoritmo en forma adimensional. La fórmula resultante se expresa de la siguiente manera:

$$Q = N_b C_c A_c \sqrt{2gH_c} \tag{7.14}$$

donde N_b es el número de barrels?? 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, WSE_h es el nivel de agua a la entrada de la alcantarilla, Z_{bi} es the inlet invert elevation, WSE_{tw} es el nivel de agua aguas abajo (tailwater). Para el cálculo del control de entrada,

$$C_c = \begin{cases} \sqrt{\frac{1-\frac{D_c}{H_h}(Y+mS_0)}{2c'}} & for \quad H_h > 1.2D_c \\ \frac{1}{\sqrt{2}K'(1/M)} \left(\frac{H_h}{D_c}\right)^{\left(\frac{1}{M}-0.5\right)} & for \quad H_h \leq 1.2D_c \end{cases} \tag{7.15}$$

donde $H_h = WSEL_h - Z_{bi}$ es the headwater depth. D_c es el diámetro de la alcantarilla para geometrías circulares y la dimensión de la base 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:

$$C_c = \left(1 + K_e + \frac{2gn_c^2 L_c}{R_c^{4/3}}\right)^{-0.5} \tag{7.16}$$

donde R_c es le 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).

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

MATERIAL DEL BARREL DE LA ALCANTARILLA	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

Continued on next page

Table 7.2 – continued from previous page

MATERIAL DEL BARREL DE LA ALCANTARILLA	DESCRIPCIÓN DE LA ENTRADA	N de MANNING N_c
	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

Table 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
	Rounded on three sides to radius of 1/12 of barrel dimension	0.2
	Wingwalls at 30° to 75° to barrel	
	Borde cuadrado en la corona	0.4
	Crown edge rounded to radius of 1/12 of barrel dimension	0.2
	Wingwalls 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.

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

BARREL MATERIAL	BARREL SHAPE	DESCRIPCIÓN DE LA ALCANTARILLA*	K'	M	C'	Y
Hormigón	Circular	Headwall; borde cuadrado	0.3153	2.0000	1.2804	0.6700
Hormigón	Circular	Headwall; 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	Headwall	0.2509	2.0000	1.2192	0.6900
Metal cor.	Circular	Mitered to slope	0.2112	1.3300	1.4895	0.7500
Metal cor.	Circular	Saliente	0.4593	1.5000	1.7790	0.5400
Hormigón	Circular	Anillo biselado; 45°bevels	0.1379	2.5000	0.9651	0.7400
Hormigón	Circular	Beveled ring; 33.7°bevels	0.1379	2.5000	0.7817	0.8300
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; 30°to 75°flares; square edge	0.1475	1.0000	1.2385	0.8100
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; 90°and 15°flares; square edge	0.2242	0.7500	1.2868	0.8000
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; 0°flares; square edge	0.2242	0.7500	1.3608	0.8200
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; 45°flare; beveled edge	1.6230	0.6670	0.9941	0.8000
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; 18°to 33.7°flare; beveled edge	1.5466	0.6670	0.8010	0.8300
Hormigón	Rectangular	Headwall; 3/4 inch chamfers	1.6389	0.6670	1.2064	0.7900
Hormigón	Rectangular	Headwall; 45°bevels	1.5752	0.6670	1.0101	0.8200
Hormigón	Rectangular	Headwall; 33.7°bevels	1.5466	0.6670	0.8107	0.8650
Hormigón	Rectangular	Headwall; 45°skew; 3/4 in chamfers	1.6611	0.6670	1.2932	0.7300
Hormigón	Rectangular	Headwall; 30°skew; 3/4 in chamfers	1.6961	0.6670	1.3672	0.7050
Hormigón	Rectangular	Headwall; 15°skew; 3/4 in chamfers	.7343	0.6670	1.4493	0.6800
Hormigón	Rectangular	Headwall; 10-45° skew; 45°bevels	1.5848	0.6670	1.0520	0.7500
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; non-offset 45°/flares;	1.5816	0.6670	1.0906	0.8030
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; non-offset 18.4°/flares; 3/4 in chamfers	1.5689	0.6670	1.1613	0.8060
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; non-offset 18.4°/flares; 30°/skewed barrel	1.5752	0.6670	1.2418	0.7100
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; offset 45°/flares; beveled top edge	1.5816	0.6670	0.9715	0.8350
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; offset 33.7°/flares; beveled top edge	1.5752	0.6670	0.8107	0.8810
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; offset 18.4°/flares; top edge bevel	1.5689	0.6670	0.7303	0.8870
Metal cor.	Rectangular	Headwall	0.2670	2.0000	1.2192	0.6900
Metal cor.	Rectangular	Projecting; thick wall	0.3023	1.7500	1.3479	0.6400
Metal cor.	Rectangular	Projecting; thin wall	0.4593	1.5000	1.5956	0.5700
Hormigón	Circular	Tapered throat	1.3991	0.5550	0.6305	0.8900

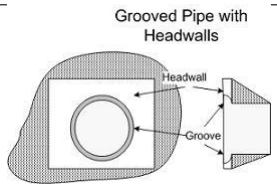
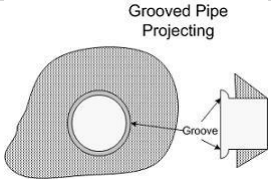
Continued on next page

Table 7.4 – continued from previous page

BARREL MATERIAL	BARREL SHAPE	DESCRIPCIÓN DE LA ALCANTARILLA*	K'	M	C'	Y
Metal cor.	Circular	Tapered throat	1.5760	0.6400	0.9297	0.9000
Hormigón	Rectangular	Tapered throat	1.5116	0.6670	0.5758	0.9700
Hormigón	Circular	Headwall; borde cuadrado	0.3153	2.0000	1.2804	0.6700
Hormigón	Circular	Headwall; borde acanalado	0.2509	2.0000	0.9394	0.7400
Hormigón	Circular	Projecting; borde acanalado	0.1448	2.0000	1.0198	0.6900
Metal cor.	Circular	Headwall	0.2509	2.0000	1.2192	0.6900
Metal cor.	Circular	Mitered to slope	0.2112	1.3300	1.4895	0.7500
Metal cor.	Circular	Saliente	0.4593	1.5000	1.7790	0.5400
Hormigón	Circular	Beveled ring; 45°bevels	0.1379	2.5000	0.9651	0.7400
Hormigón	Circular	Beveled ring; 33.7°bevels	0.1379	2.5000	0.7817	0.8300
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; 30°to75°flares; square edge	0.1475	1.0000	1.2385	0.8100
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; 90°and 15°flares; square edge	0.2242	0.7500	1.2868	0.8000
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; 0°flares; square edge	0.2242	0.7500	1.3608	0.8200
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; 45°flare; beveled edge	1.6230	0.6670	0.9941	0.8000
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; 18°to 33.7°flare; beveled edge 1.5466	0.6670	0.8010	0.8300	
Hormigón	Rectangular	Headwall; 3/4 inch chamfers	1.6389	0.6670	1.2064	0.7900
Hormigón	Rectangular	Headwall; 45°bevels	1.5752	0.6670	1.0101	0.8200

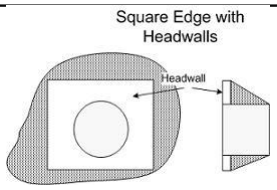
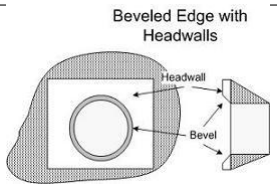
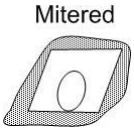
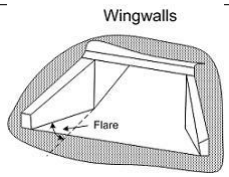
*Ver Tabla 7.5 para las configuraciones de entrada.

Table 7.5 – Configuraciones de entrada a la alcantarilla. Adaptado de *www.xmswiki.com/xms/*.

CONFIGURACIÓN DE LA ENTRADA	DESCRIPCIÓN
	End of the culvert barrel projects out of the embankment.
	Tubo acanalado para alcantarillas de hormigón disminuye las pérdidas de energía a través de la entrada.
	Esta opción es para alcantarillas con conducto de hormigón.

Continued on next page

Table 7.5 – continued from previous page

CONFIGURACIÓN DE LA ENTRADA	DESCRIPCIÓN
	Square edge with headwall is an entrance condition where the culvert entrance is flush with the headwall.
	'Beveled edges' is a tapered inlet edge that decreases head loss as flow enters the culvert barrel.
	Mitered entrance is when the culvert barrel is cut so it is flush with the embankment slope.
	Wingwalls are used when the culvert is shorter than the embankment and prevents embankment material from falling into the culvert

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 el calado a la entrada de la alcantarilla es menor que el valor mínimo en la "'rating table"', el caudal se asumirá como cero.

6. El caudal calculado se sustraerá del elemento de entrada y se añadirá al elemento de salida, asumiendo 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 "'rating table"' 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, el calado 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 el calado en B.

2. No hay control de salida en el cálculo del caudal mediante una "'rating table"'.

3. Cuando se usan los tipos de alcantarillas (CulvertTypes) 1 y 2, ambos finales de la alcantarilla tienen que están 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 altura de presión, H, 1.2D, donde D es el diámetro del la alcantarilla circular o la altura de la alcantarilla rectangular The entrance to a culvert is regarded as submerged when the head water depth, H, 1.2D, where D is the diameter of the circular culvert or the height of box culverts.

7.4 Componente de compuertas

La componente de compuertas permite integrar compuertas en el interior de la región modelizada. Cada compuerta necesita ser definida en términos de su alineamiento en plano, elevación de la cresta (Zc), altura de la compuerta ($Hgate$) y la historia temporal de aperturas (Ha) dada como una tabla en un archivo asociado a cada estructura (ver Figura 7.19). La Figura 7.20 muestra los modos de flujo que pueden ser calculados a través de las compuertas, incluyendo las situaciones sumersión y "'overtopping"'.

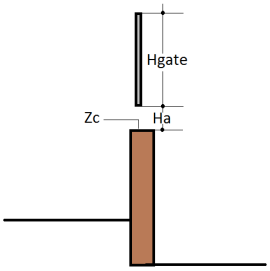


Figure 7.19 – Vista esquemática perpendicular a las estructura de compuerta.

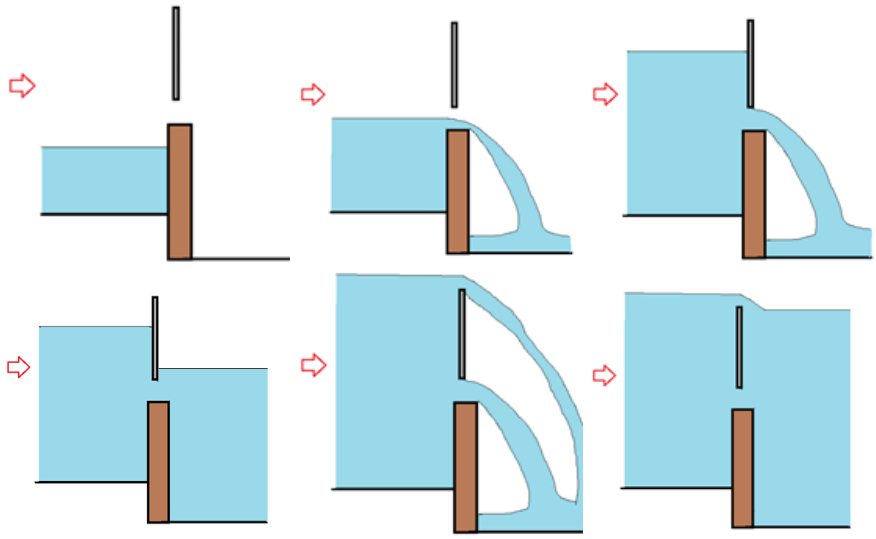


Figure 7.20 – Modos de flujo a través de las compuertas.

Para realizar una simulación con la componente de compuertas, el usuario debe seleccionar la opción en el panel *Control Data* del diálogo "'Data Input Program"' de RiverFlow2D, tal como se muestra en la Figura 7.21.

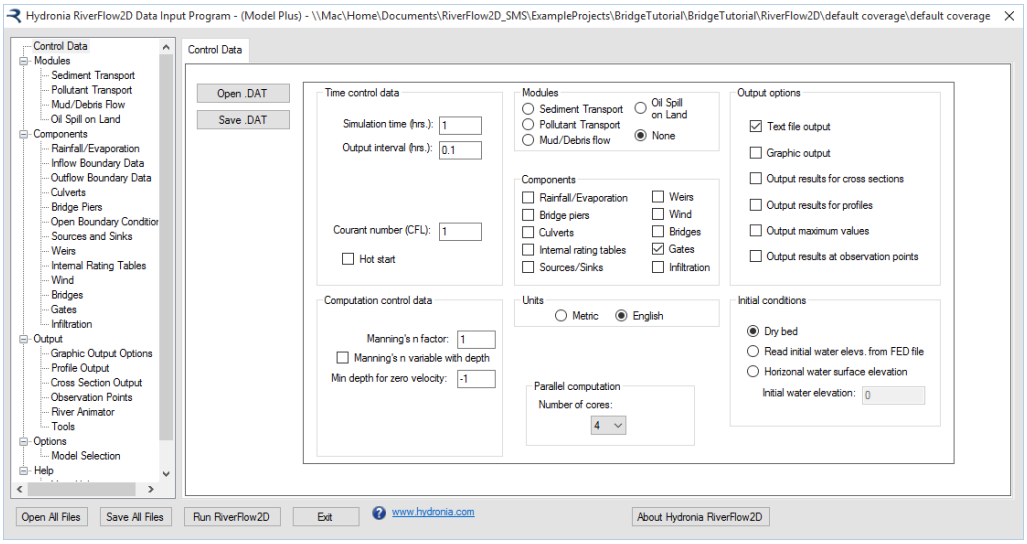


Figure 7.21 – Panel *Control Data* de RiverFlow2D con la componente de compuertas seleccionada.

Los datos en plano de la compuerta se introducen en la capa del modelo conceptual de SMS. Primero, el usuario deberá crear un arco que definirá la geometría en plano de la compuerta. Dibujar una polilínea haciendo click en cada vértica hasta que se alcance el punto final deseado. Para completar la polilínea, hacer doble click.

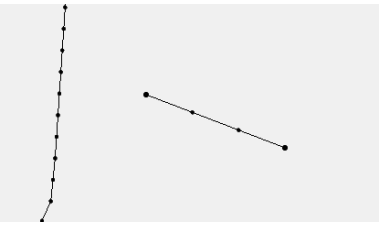


Figure 7.22 – Polilínea de la compuerta.

Posteriormente, seleccionar la polilínea mediante el icono *Select Feature Arch* y hacer click derecho para redistribuir los vértices sobre la misma.

Con la polilínea seleccionada, hacer click derecho en el arco, seleccionar *Attributes...* y en el diálogo *Feature arc Attributes*, seleccionar *Boundary conditions* y hacer click en *Options...*

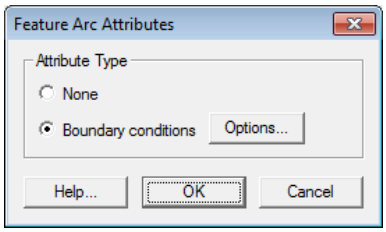


Figure 7.23 – Atributos del Feature arc.

En el diálogo *Nodestring Boundary Conditions*, seleccionar la componente de compuertas (*Gates*) e introducir el texto deseado como identificador de la compuerta (Gate ID), así como el nombre del fichero que contiene la serie temporal de la apertura, la elevación de la cresta, la altura de la cresta y el *Cd* de la compuerta.

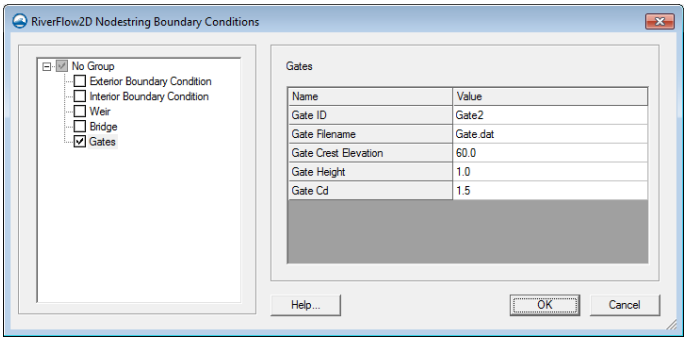


Figure 7.24 – Diálogo de compuertas.

Dado que la polilínea de la compuerta tiene que pasar por los nodos, resulta esencial que el motor de generación de la malla cree nodos a lo largo de la polilínea. Esto se realiza fácilmente rehaciendo la malla mediante el comando *Feature Objects/Map → 2D Mesh*.

Nota: 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 asumiendo 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, asumiendo 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 7.25, el caudal viene dado por

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

con K_1 un coeficiente de pérdidas energéticas. En RiverFlow2D, K_1=3.33 (Henderson 1966).

Cuando $G_o + max(z_l, z_r) > min(d_l, d_r)$, Figura 7.26, el caudal viene dado por

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

con K_2 otro coeficiente de pérdidas energéticas. En RiverFlow2D, K_2=2.25 (Henderson 1966).



Figure 7.25 – Niveles de agua para descarga bajo una compuerta sumergida formulados como en (G1).

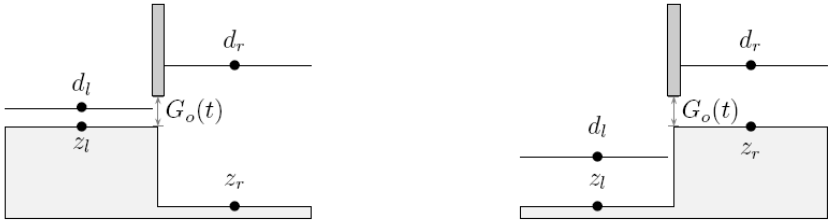


Figure 7.26 – Niveles de agua para descarga bajo una compuerta sumergida formulados como en (G2).

7.5 Lluvia, evaporación e infiltración

Esta sección describe los cálculos hidrológicos implementados en el modelo RiverFlow2D. La componente incluye capacidades para integrar lluvia, evaporación e infiltración en las simulaciones.

This section describes the Hydrologic computations implemented in the RiverFlow2D model. The component includes capabilities to integrate rainfall, evaporation and infiltration in the model simulations.

7.5.1 Lluvia

La lluvia es tratada como un término fuente simple. Representa una entrada adicional al calado 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 dispona 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 cuál el agua superficial entre al suelo. En RiverFlow2D, 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 RiverFlow2D 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 modelizar la capacidad de infiltración del suelo f_p:

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

donde f_0 y f_c son las capacidades inicial y final de infiltración, respectivamente, ambas medidas en m/s or in/s and k representa la rapidez a la que decrede 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 $k = 4.14\ hr^{-1}$ es recomendable en ausencia de cualquier tipo de dato de experimental (Akan 1993).

Table 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

Continued on next page

Table 7.6 – continued from previous page

TIPO DE SUELO	f_0 **(mm/hr)**
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

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

TIPO DE SUELO	f_c **(mm/hr)**
Loam arcilloso, limo arcilloso limoso	127
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 asumirán 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:

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

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:

$$R \leq f_p \Rightarrow f = R \qquad\qquad R > f_p, t > t_p \Rightarrow f = f_p \tag{7.21}$$

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 asume 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 a tiempo $t = 20min$, por lo que es necesario determinar el tiempo de encharcamiento t_p resolviendo (7.22):

$$F = \int_0^{t_p} R(t)dt = f_c t_p + \frac{f_0 - fc}{k}\left(1 - e^{-kt_p}\right) \tag{7.22}$$

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 a tiempo $t = 20min$ se calcula evaluando (7.19) en t_p:

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c)\, e^{-kt_p} \tag{7.23}$$

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 $fc = fp$ y $t = t - t'$, siendo t' el tiempo en el cual la intensidad de lluvia excede la capacidad de infiltración del suelo:

$$f = f_c + (f_p - f_c)\, e^{-k\left(t-t'\right)} \tag{7.24}$$

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:

$$f_p \leq R \tag{7.25}$$

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 mnuestran en la Tabla 7.8, tal como se presentan en (Rawls & Brakensiek 1983).

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

TIPO DE SUELO	θ_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:

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

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

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

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-Rhapson). La altura de succión efectiva puede ser reemplazada por el valor promedio Ψ (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 modelizar un patrón de tormenta no uniforme (Te 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):

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

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 $f_p \leq i$:

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

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 infiltraión 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:

$$F'_{t+\Delta t} = F + i\Delta t. \tag{7.30}$$

Mediante las ecuaciones (7.28) and (7.30), un valor tentativo de la capacidad de infiltración $f'_{p,t+\Delta t}$ can be calculated. 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):

$$F_p = \frac{K_s \Psi \Delta\theta}{i - K_s} \tag{7.31}$$

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

$$\Delta t' = \frac{F_p - F}{i} \tag{7.32}$$

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:

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

donde RO=escorrentía o precipitación efectiva, RV=Volumen 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:

error en la versión original: RO=runoff...

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \tag{7.34}$$

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 ratio α y S:

$$I_a = \alpha S \tag{7.35}$$

El ratio de abstracción inicial ha sido tomado tradicionalmente como $\alpha = 0.2$ para todas las cuencas (USDA 1986) pero estudios recientes sugieren que existe un ampli 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 simulador complejo, 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 deterinar 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 (Te 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).

Table 7.9 – Grupos de antecedentes de contenido de humedad (AMC) (adaptación 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, (Te 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:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \tag{7.36}$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 - 0.13CN(II)} \tag{7.37}$$

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

7.5.3 Introduciendo los datos de lluvia, evaporación e infiltración

Para introducir los datos para una simnulación con lluvia, evaporación e infiltración el usuario deberá emplear el panel *Rainfall/Infiltration* en el Data Input Program de RiverFlow2D.

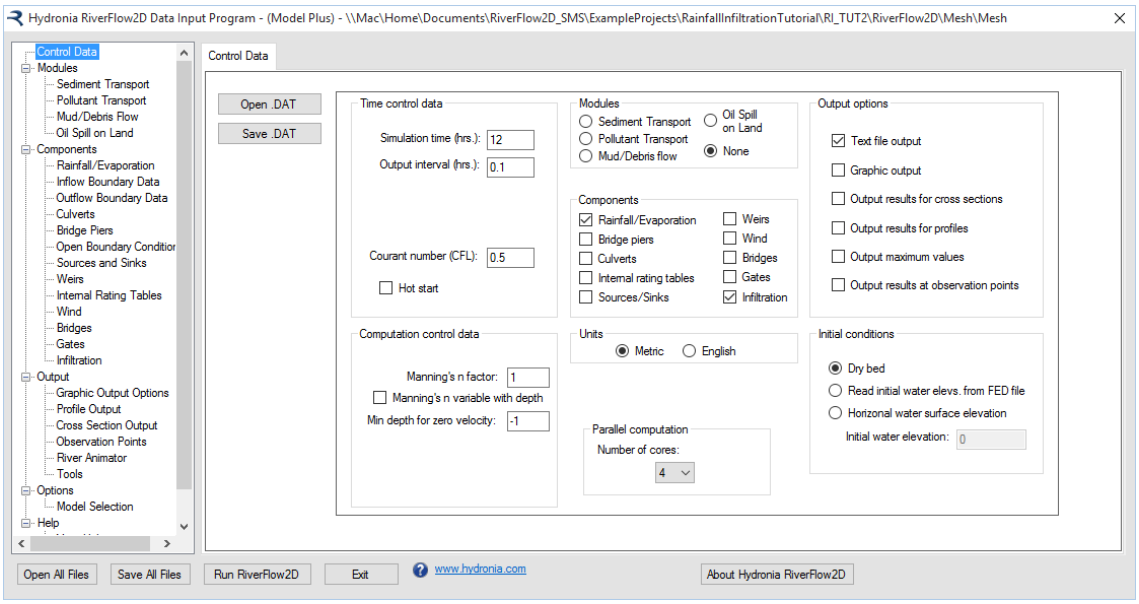


Figure 7.27 – Panel Rainfall/Infiltration de RiverFlow2D.

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 el calado 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 simulaciónn 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 momento. Por lo tanto, el vector de términos fuente (7.2) se reescribe como:

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

donde

$$S_{wx} = C_a \frac{\rho_a}{\rho_w} \mathcal{U}|\boldsymbol{\mathcal{U}}| \qquad S_{wy} = C_a \frac{\rho_a}{\rho_w} \mathcal{V}|\boldsymbol{\mathcal{U}}| \tag{7.39}$$

siendo $\boldsymbol{\mathcal{U}} = (\mathcal{U}, \mathcal{V})$ la velocidad del viento, ρ_a y ρ_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 aforo internas

Las curvas de aforo internas son condiciones de contorno internas a lo largo de una polilinea donde el modelo impone el nivel de agua

Internal Rating Tables is an internal condition along a polyline where the model imposes the interpolated water elevation from the calculated discharge from a user provided rating table. ¿Esto no es justo al revés?'

Si la curva de aforo 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 aforo internas, el usuario necesita seleccionar lesta opción en el panel *Control Data* del Programa de Entrada de Datos (Data Input Program) de RiverFlow2D, tal como se muestran en Figure 7.28.

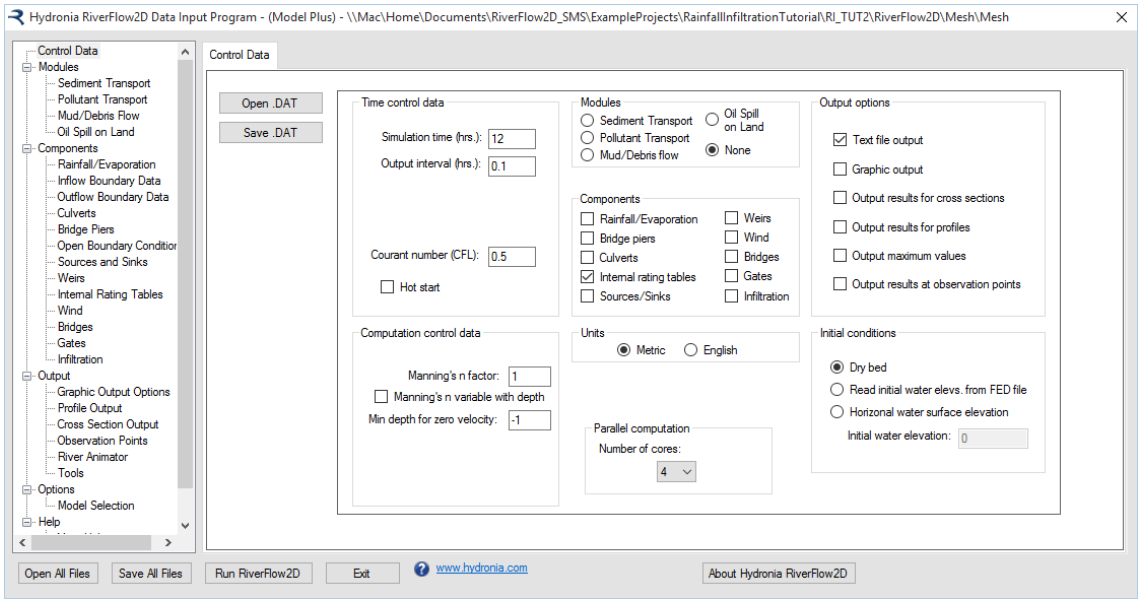


Figure 7.28 – Panel *Control Data* de RiverFlow2D con la componente IRT seleccionada.

Los datos en plano de las IRT son introducidos en la cobertura del modelo conceptual de SMS. Para crear una polilinea para IRT, el usuario deberá dibujar una polilinea haciendo click en cada vértice hasta que se alcance el punto final, en el que se hará doble click para completar la polilinea.

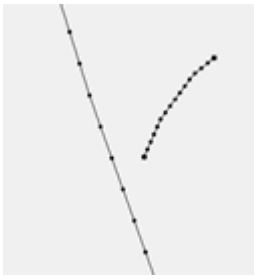


Figure 7.29 – Polilinea de curva de aforo interna.

Posteriormente, se ha de seleccionar la polilinea mediante el icono "Select Feature Arch" y se ha de hacer click derecho para redistribuir los vértices en la polilinea. Mientras la polilinea está seleccionada, click derecho en al arco y seleccionar "Attributes..." y en el diálogo *Feature arc Attributes*, seleccionar "Boundary conditions..." y hacer click en "Options...".

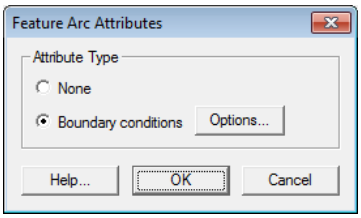


Figure 7.30 – Atributos de arco.

En el diálogo *Boundary Conditions* de la cadena de nodos (nodestring), seleccionar la componente "Interior Boundary Condition" e introducir el identificador de la IRT (IRT ID) y el nombre del fichero que contenga la table de niveles de agua frente al caudal.

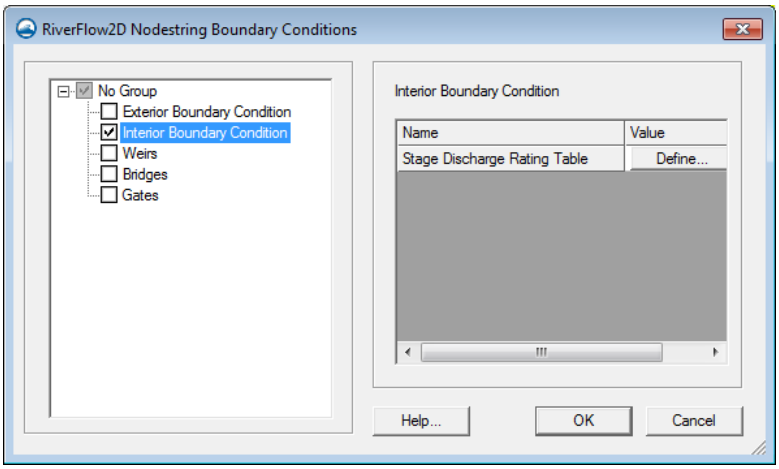


Figure 7.31 – Diálogo *Internal Rating Table*.

Introducir la IRT deseada (cualquier texto) y hacer click en "Define..." para crear la tabla. El siguiente diálogo aparecerá en pantalla y los valores de la curva de aforo interna (Caudal vs. Nivel de agua) podrán ser introducidos.

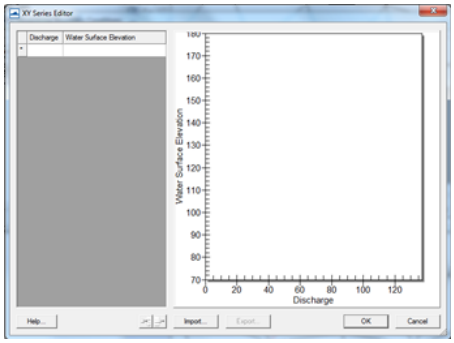


Figure 7.32 – Ventana para introducir las parejas (caudal-nivel de agua) para la IRT.

Como la IRT tiene que pasar a través de los nodos, resulta esencial que el motor de generación de la malla cree nodos a lo largo de la cadena de nodos. Esto se realiza fácilmente recreando la malla usando el comando *Feature Objects/Map → 2D Mesh*. La linea de nodos resultante a lo largo de la polilinea de la IRT se muestra en la Figura 7.33.

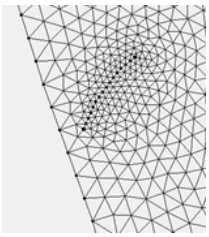


Figure 7.33 – *Linea de nodos resultante a lo largo de la polilinea de la IRT.*

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

7.7.1 Cálculos para la curva de aforo interna

Una curva de aforo 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 table se define a lo largo de una polilinea en la malla. Primero, se calcula un nivel de agua promedio común, comsiderando todas las celdas aguas arriba a lo largo del polilinea. Posteriormente, el caudal se impone en las celdas que comparten ejes a ambos lados en la polilinea de acuerdo al nivel de agua común aguas arriba y siguiendo la curva de aforo 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 polilinea de la IRT.
2. Se calcula el caudal que apasa a través de la polilinea de la IRT a partir de los niveles de agua promedioen 1 usando la curva de aforo.
3. Se define una velocidad media a partir del cauydal 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 polilinea.

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

7.7.2 Suposiciones de los cálculos de las curvas de aforo internasl

- La curva de aforo no tiene en cuenta el control de la salida.

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 *Control Data* del Programa de Entrada de Datos de RiverFlow2D (Data Input Program), tal como se muestra en la Figura 7.34.

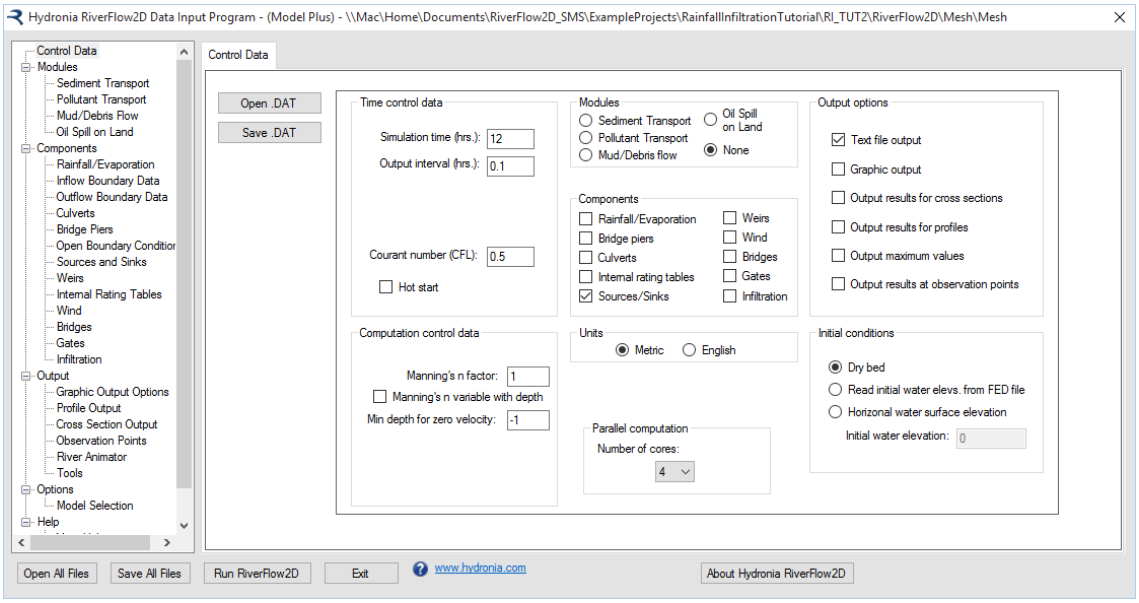
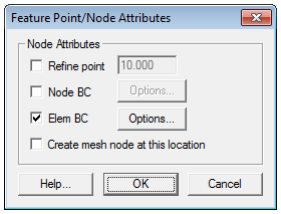


Figure 7.34 – Panel Control Data de RiverFlow2D con la componente de fuentes y sumideros seleccionada.

Los datos de las fuentes y sumideris se introducen en la cobertura del modelo conceptual de SMS. Para crear una fuente/sumidero, el usuario deberá seguir los siguientes pasos:

- Click en el icono *Create Feature Point* y se selecciona la localización donde se quiere introducir la fuente
- Click en el icono *Select Feature Point* y se selecciona el punto introducido en el paso anterior.
- En el menú *Feature Objects*, click en *Attributes...*

- Seleccionar *Elem BC* y click en el boton *Options...*:



- Seleccionar Source/Sink, introducir el nombre/ID de la fuente/sumidero (e.g. SOURCE1) y click en *Define...*

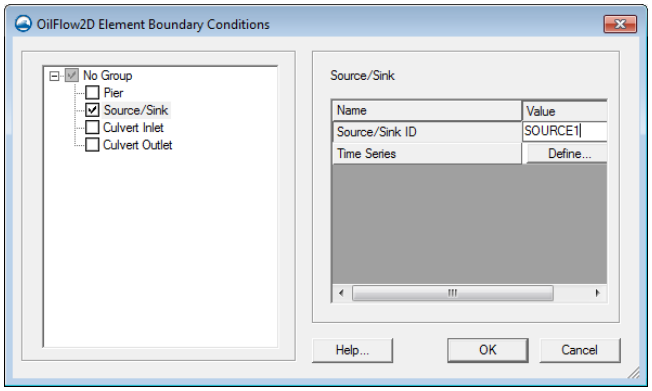


Figure 7.35 – Diálogo de fuentes/sumideros.

- Introducir la serie temporal de caudal (transitorio) o un único caudal (flujo estacionario).

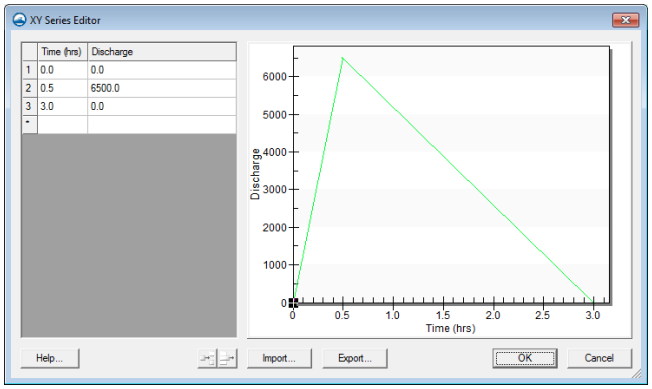


Figure 7.36 – Editor de series temporales para introducir el caudal para una fuente/sumidero.

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

7.9 Vertederos

La componente de vertederos (weirs) de RiverFlow2D puede ser conveniente cuando se intenta simular el desbordamiento en diques o carreteras. La herramienta permite definir una polilinea para representar el alineamiento de la estructura y asignar las elevaciones de la cresta que pueden variar a lo largo de la polilinea.

Para realizar una simulación con vertederos, el usuario necesita seleccionar la opción en el panel *Control Data* del Programa de Entrada de Datos de RiverFlow2D tal como se muestra en la Figura 7.37.

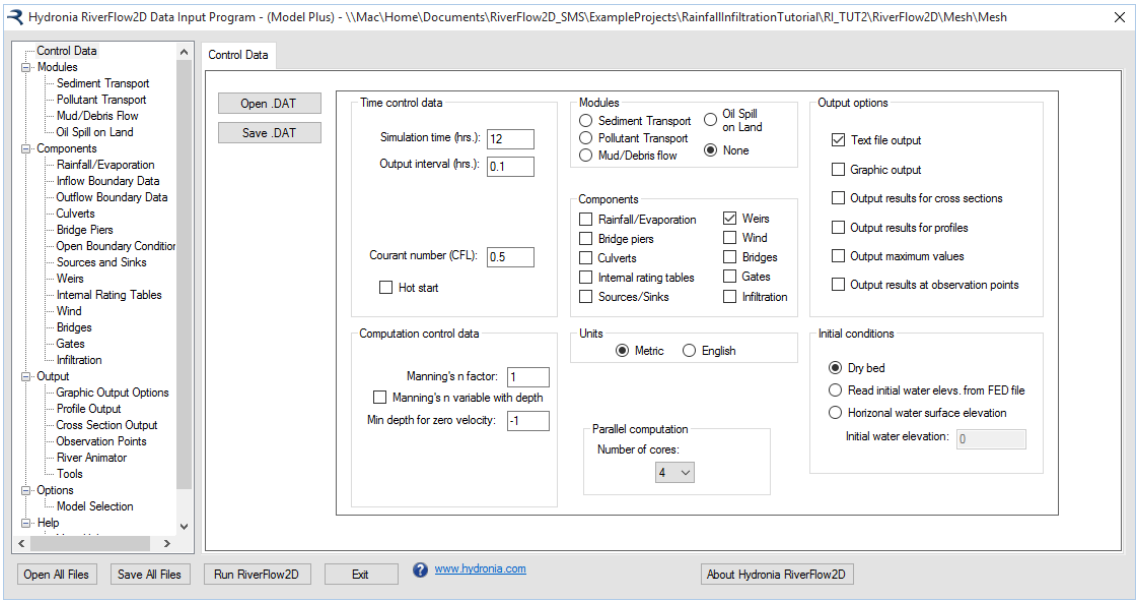


Figure 7.37 – Panel Control Data de RiverFlow2D con la componente de vertederos seleccionada.

Los datos en plano del vertedero se introducen en el modelo conceptual creado en SMS. Para crear un vertedero, primero hay que asegurarse de que la capa del modelo conceptual donde se define el domino está activa. Después, hay que crear un arco que definirá la geometría del vertedero en plano.

A continuación, dibujar una polilinea haciendo click en cada vértice hasta que se alcance el punto final deseado. Para completar la polilinea, el usuario debe hacer doble click con el ratón.

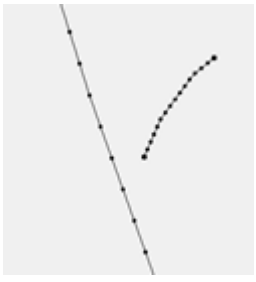


Figure 7.38 – Polilina del vertedero.

Posteriormente, se selecciona la polilinea usando el icono "'Select Feature Arch"' y haciendo click derecho para redistribuir los vértices en la polilinea. Mientras la polilinea está seleccionada,

click derecho en el arco y seleccionar "'Attributes"'. En el diálogo *Feature arc Attributes*, seleccionar *Boundary conditions* y click en*Options* Then select the polyline using the Select Feature Arch icon, and right click to redistribute the vertices on the polyline. While the polyline is selected, right click on the arc and select Attributes... and on the *Feature arc Attributes* dialog, select *Boundary conditions* and click *Options...*

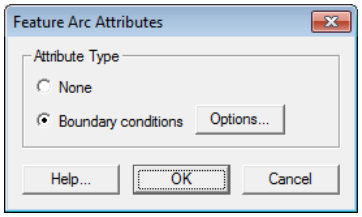


Figure 7.39 – Diálogo "'Feature arc attributes"'.

En el diálogo de la cadena de nodos *Boundary Conditions*, seleccionar la componente de Condición de Contorno Interior e introducir el coeficiente de vertedero C_f. Esta versión del software puede considerar una elevación variable de la cresta a lo largo del vertedero.

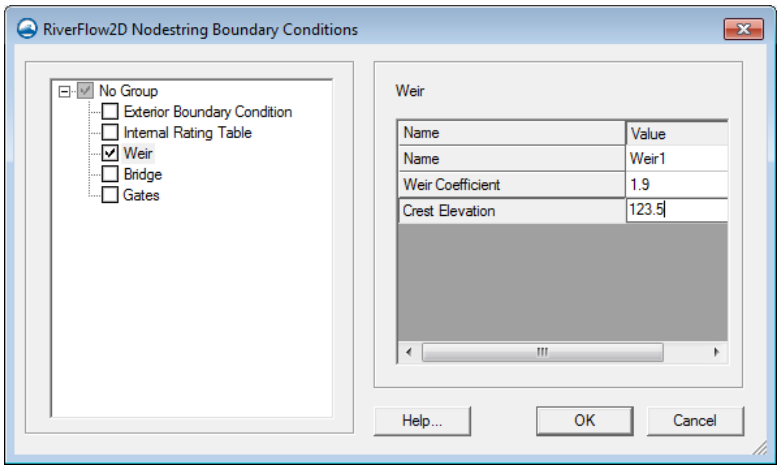


Figure 7.40 – Diálogo de los datos del vertedero.

Debido a que RiverFlow2D requiere que el vertedero pase a través de los nodos, resulta esencial que el motor de generación de la malla cree nodos a lo largo de la polilinea del vertedero. Para lograr esto, es recesario que cada polilinea de vertedero coincida exactamente con los arcos correspondientes en el modelo conceptual de SMS.

Nota: 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:

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

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, $MAX\left(d_L, d_R\right) \leq d_w$, 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.

5. The discharge is imposed on both the and cells.

El vertedero es simulado asumiendo 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 $H_w + max\left(z_l, z_r\right) < min\left(d_l, d_r\right)$, el caudal viene dado por

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

donde C_f es el coeficiente de descarga.

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

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

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 RiverFlow2D proporciona una manera de simular una brecha gradual de obstrucciones lineales internas, como presas, diques, etc. La obstrucción se introduce como una polilinea arbitraria y se considera una barrera al flujo de agua que restringe, direcciona o ralentiza el mismo, a menudo creando encharcamientos aguas arriba.

En RiverFlow2D, la presa se define como una condición de contorno interna y se modeliza como un trapecio progresivo. Para una completa parametrización de la brecha, se usan los siguientes parámetros y variables (ver Figura 7.41):

- Coordenadas (x,y) del centro de la brecha, asumiendo $z = z_{crest}$, donde z_{crest} es la coordenada z inicial de la presa.

- Valor del ángulo material α (se asume 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:

$$Q_b = KB(H)^{3/2} \tag{7.43}$$

donde $H = h + z - H_v$, $H_v = z_{crest} - H_b$ y $B(H) = b(t) + 2\frac{H(t)}{tg\alpha}$.

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

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

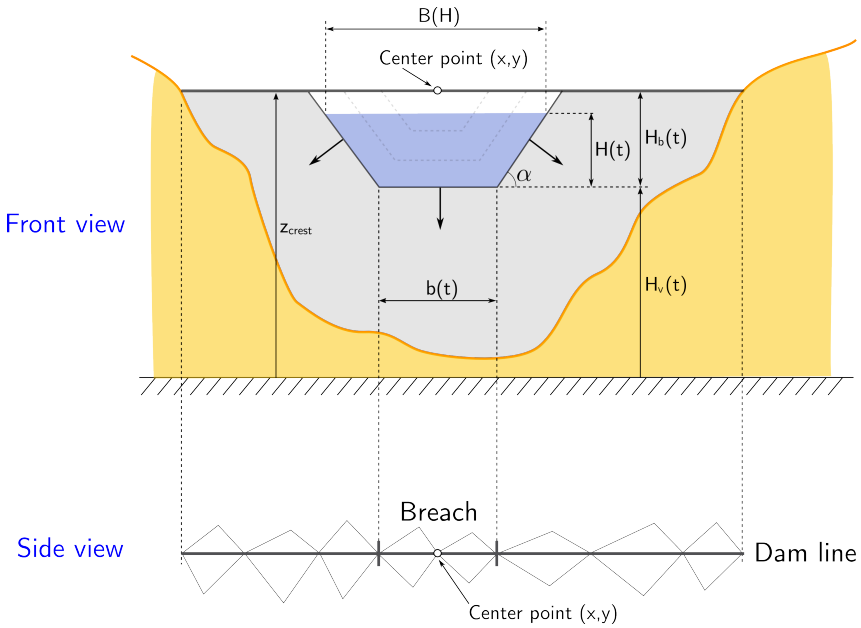


Figure 7.41 – Sistema de coordenadas para la representación de la brecha en la presa.

8

Programa de entrada de datos (DIP) de RiverFlow2D

La interfaz de usuario del programa de entrada de datos (Data Input Program, DIP) proporciona las herramientas para introducir los datos no espaciales y realizar una simulación con RiverFlow2D. Todos los cambios introducidos en el DIP se guardarán en el formato nativo de RiverFlow2D not to the `.2dm` file.

EL DIP de RiverFlow2D aparece cuando el usuario utiliza el comando *Run RiverFlow2D* del menú *RiverFlow2D* de SMS. También es posible acceder al DIP haciendo doble click en el icono RiverFlow2D en el escritorio. Es ese caso, el programa mostrará una lista de proyectos previos y permitirá abrir cualquiera de ellos:

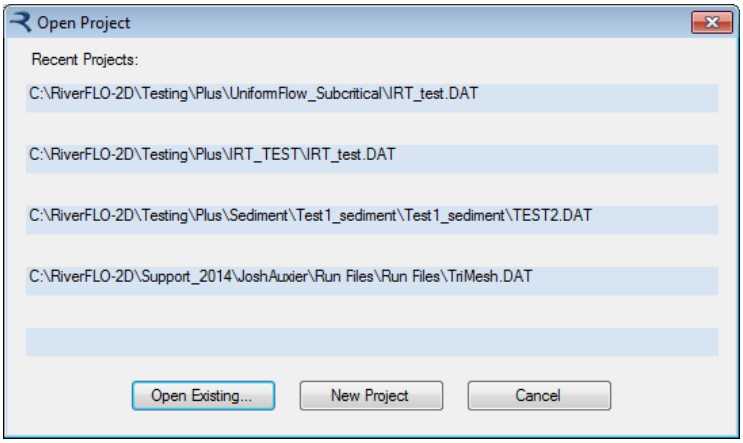


Figure 8.1 – Diálogo de apertura de proyectos del DIP de RiverFlow2D.

El DIP de RiverFlow2D proporciona un entorno de entrada de datos con paneles que incluyen todas las opciones no espaciales para lanzar el modelo RiverFlow2D. 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 RiverFlow2D. Por ejemplo, el panel de control de datos tiene todos los datos del archivo `.DAT`.

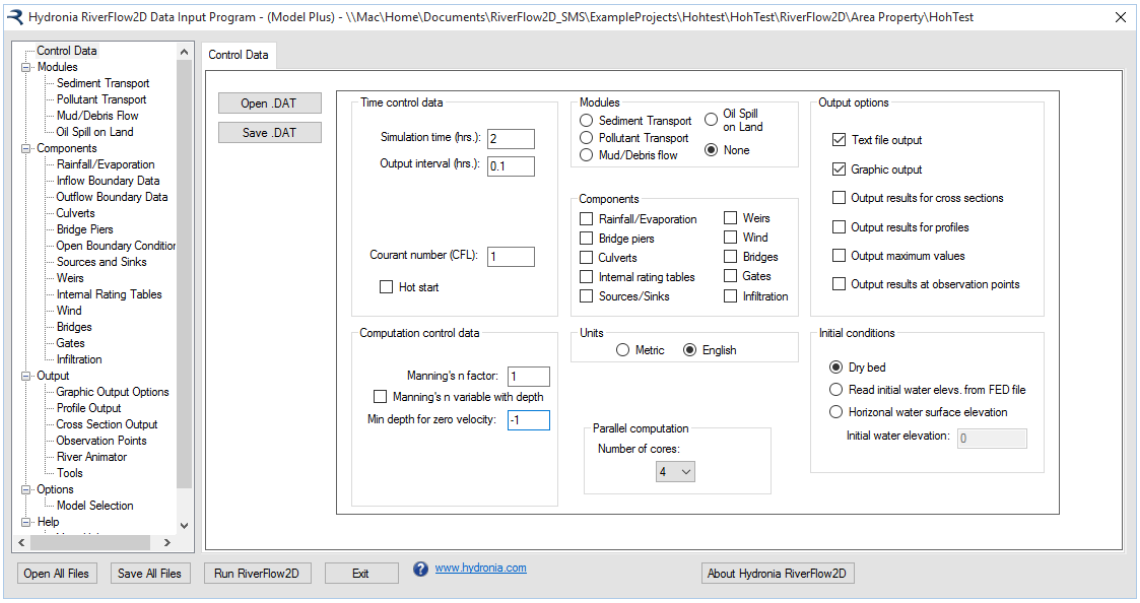


Figure 8.2 – Ventana principal del programa de entrada de datos (Data Input Program) de RiverFlow2D.

El DIP de RiverFlow2D permite al usuario seleccionar diferentes motores de cálculo. Haciendo click en "'Model Selection"' se abre un diálogo en el que se puede seleccionar entre RiverFlow2D Plus GPU, RiverFlow2D Plus o RiverFlow2D FE. Para lanzar la verión GPU es necesario disponer de una licencia especial así como del hardware GPU apropiado.

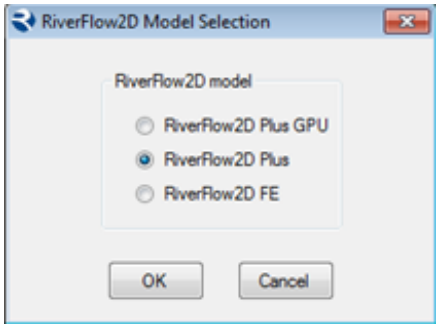


Figure 8.3 – Diálogo de selección de modelo de RiverFlow2D.

Las siguientes secciones describen los diálogos de paneles del DIP de RiverFlow2D.

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 RiverFlow2D. El programa se lanzará con el panel de control de datos visible.

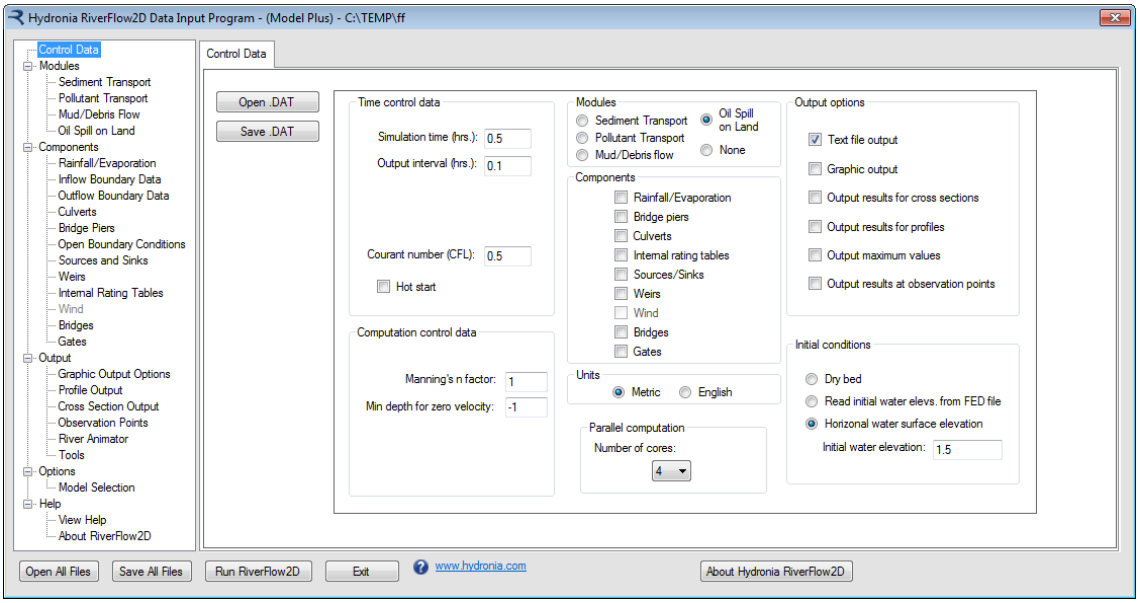


Figure 8.4 – Panel de control de datos.

Table 8.1 – Botones en el panel de control de datos.

NOMBRE DEL BOTÓN	DESCRIPCIÓN
Open .DAT	Abre un fichero `.DAT` existente.
Save .DAT	Guarda un archivo `.DAT` con los datos mostrados en el panel.
Botones en la fila inferior duplicados en cada panel.	
Open All Files	Guarda datos de todas las pestañas activadas. *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`.*
Run RiverFlow2D	Lanza el modelo RiverFlow2D.
Exit	Cierra el Data Input Program de RiverFlow2D.
About Hydronia RiverFlow2D	Muestra una descripción concisa de RiverFlow2D.
?	Abre la guía de usuario de RiverFlow2D.
www.hydronia.com	Abre la página web de Hydronia en el navagador.

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

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. 1.0 no es un valor muy extremo??
Hot start	Usar esta opción para iniciar el modelo a partir de los resultados de una siimulación previa.

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

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^3/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^3/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.*

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

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Factor n de Manning	Usar este factor (XNMAN) para testar la sensibilidad de los resultados al coeficiente n *de Manning*. El valor n 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.
n de Manning variable con el calado de agua	Seleccionar esta opción para que el coeficiente n de Manning sea una función del calado de agua. El usuario tiene que introducir polígonos sobre la malla y cada polígono deberá tener un archivo asociado que contenga una tabla con el calado vs el coeficiente n de Manning.
Calado mínimo para fondo seco	Este parámetro indica el calado 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 calados menores que 10^{-6}m.

Table 8.5 – Cuadro de datos de condiciones de contorno cerradas en el panel de control de datos.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN

Table 8.6 – Cuadro de datos de las opciones de salida en el panel de control de datos.

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 "'Cross Section Output Panel"'. 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 polilinea pueden ser editados en el panel "'Profile Cut Output"'. 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 RiverFlow2D Plus los valores máximos solamente se generarán usando el botón de post-procesado de los resultados de RiverFlow2D en el panel de opciones de salida gráfica (Graphic Output Options)
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 (Observation Points).

Table 8.7 – Cuadro de los datos de componentes en el panel de control de datos.

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`.
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 modelizar 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`.
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`.

Continued on next page

Table 8.7 – continued from previous page

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Tablas de distribución interna	Opción para activar el uso de tablas de distribución interna (Internal Rating Tables). Los datos se pueden editar en el panel de tablas de distribución interna. Estos datos se escriben en el archivo `.IRT`.
Flujo de lodos/escombros	Opción para activar el modelado de flujo de lodos y escombros. Los datos se pueden editar en el panel de flujo de lodos/escombros. 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 (error en la versión en inglés: "'existence of sources of sinks"'). 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`.
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 transpiorte de sedimentos. Estos datos se escriben en los archivos `.SEDS` y `.SEDB`.

Table 8.8 – Cuadro de datos de componentes en el panel de control de datos.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Fondo seco	La simulación comenzará con un fondo completamente seco. Para las condiciones de contorno de caudal, se asignará un calado arbitrario (> 0.0) para calcular el flujo de entrada para el primer paso de tiempo. Subsecuentemente, el calado 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 para el modelo RiverFlow2D Plus (archivos .SEDS y .SEDB)

Este panel permite introducir los datos de transporte de sedimentos. Para activar este panel, primero seleccionar *Sediment Transport* en el *Components Frame* del *Control Data Panel*.

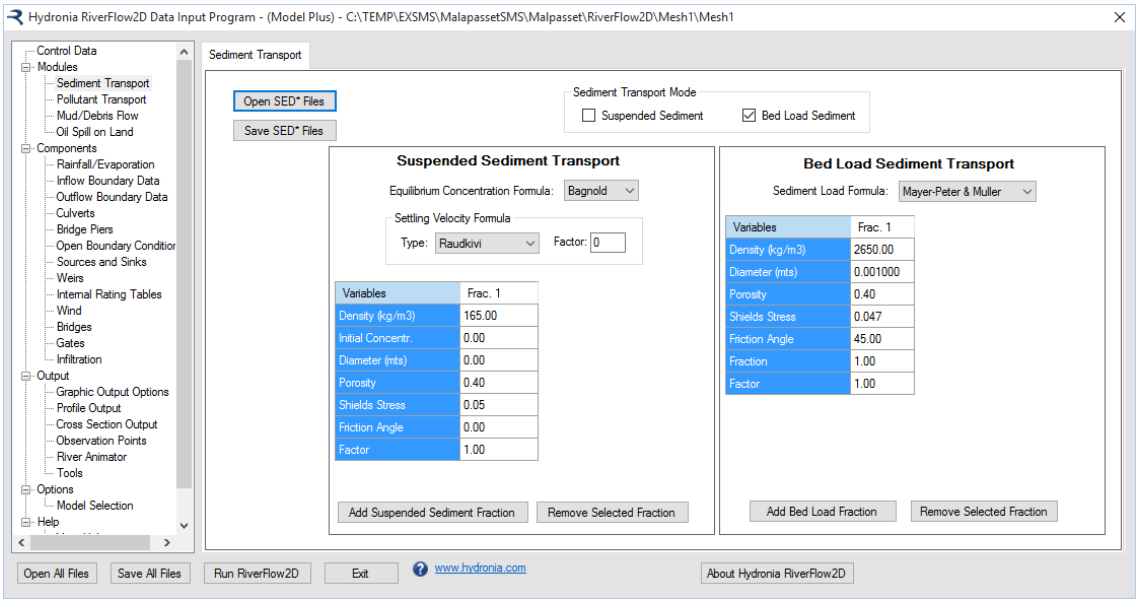


Figure 8.5 – Panel de transporte de sedimentos (modelo RiverFlow2D Plus).

Table 8.9 – Parámetros en el modo de transporte de sedimentos y botones del panel de transporte de seidmentos (modelo RiverFlow2D Plus).

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 sedimento en suspensión (ver comentario 1).
Sedimento de fondo	Seleccionando esta casilla se activará la componente de transporte de sedimento de fondo.
Bed load Sediment	Selecting this check box will activate the bed load sediment transport component (ver comentario 1).
Botones	
Open `.SED*`	Abre un archivo `.SEDS` o `.SEDB` existente.
Save `.SED*`	Guarda los datos de sedimento a los archivos `.SEDS` y `.SEDB`.

Table 8.10 – Parámetros en el cuadro de transporte de sedimento en suspensión del panel de transporte de sedimentos (modelo RiverFlow2D Plus).

NOMBRE DEL CONTROL	**DESCRIPCIÓN**
Fórmula de la concentración de equilibrio	Cuando se selecciona esta casilla, el modelo calculará las concentraciones de sedimento usando una de las siguientes fórmulas de transporte de sedimento en suspensión: 1. Bagnold (1966)lb 2. Van Rijn (1984a)
Fórmula para la velocidad de sedimentación	Es una fórmula única que se aplica para todas las fracciones. Esta lista desplegable incluye las siguientes fórmulas: 1. Rubey (1933) 2. Zhang (1961) 3. Zanke (1977) 4. Van Rijn (1984a) 5. Raudkivi (1990) 6. Julien (1998) 7. Cheng (1997) 8. Jimenez-Madsen (2003) 9. Wu-Wong (2006)
Factor	Este factor multiplica la velocidad de sedimentación calculada por la fórmula seleccionada.
Table	
Density	Densidad del sedimento en suspensión (kg/m^3 ó lb/ft^3).
Initial Concentration	Concentración volumétrica de sedimento inicial (ver comentario 2).
Diameter	Tamaño característico del sedimento para esta fracción (m or 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.
Botones	
Add Suspended Sediment Fraction	Se usa para añadir una nueva fracción. Es posible emplear hasta 10 fracciones.
Remove Selected Fraction	Borra la fracción seleccionada.

Table 8.11 – Parámetros en el cuadro de transporte de sedimento de fondo del panel de transporte de sedimento (RiverFlow2D Plus model).

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Fórmula de la carga de sedimento	Permite la selección de una de las siguientes fórmulas de transporte de sedimento: 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 (1966)
Tabla	
Density	Densidad del sedimento (lb/ft^3 ó kg/m^3).
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.
Factor	Factor de la fórmula de transporte para cada fracción. Este factor multiplica el resultado calculado con la fórmula de transporte seleccionada.
Botones	
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 ficheros .SEDS y .SEDB

1. El usuario puede seleccionar una o ambas opciones. Esta frase no tiene sentido: When the suspended sediment transport options all inflow data files should contain time series of volumetric concentrations for each fraction entered.

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 dec 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 escombros para el modelo RiverFlow2D Plus (fichero .MUD)

Este panel permite introducir los datos del flujo de lodos y escombros para el modelo RiverFlow2D. Para activar este panel, primero seleccionar *Mud* en el cuadro de componentes del panel de control de datos.

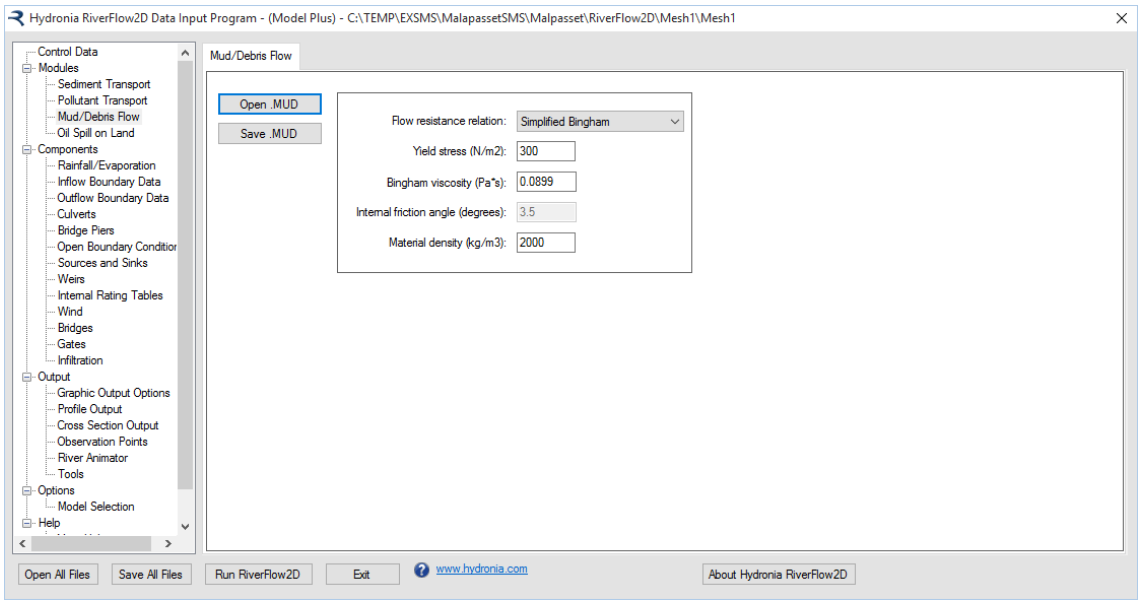


Figure 8.6 – Panel del flujo de lodos/escombros (modelo RiverFlow2D Plus).

Table 8.12 – Parametros en el panel del flujo de lodos/escombros (modelo RiverFlow2D Plus).

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Relación de resistencia al flujo	1. Flujo turbulento 2. Bingham completo 3. Bingham simplificado 4. Turbulento y Coulomb 5. Turbulento y fluencia (yield) 6. Turbulento, Coulomb y fluencia (yield) 7. Cuadrática 8. Flujo granular
Esfuerzo de fluencia (Yield stress)	Esfuerzo de fluencia (Pa ó lb/in^2).
Viscosidad de Bingham	Viscosidad de Bingham (Poise ó lb/in^2).
Ángulo de fricción interna	Ángulo de fricción interna (grados).
Densidad del material	Densidad del material (kg/m^3 ó lb/ft^3).

8.4 Derrames de petróleo en superficia para el modelo OilFlow2D (fichero .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 control de datos.

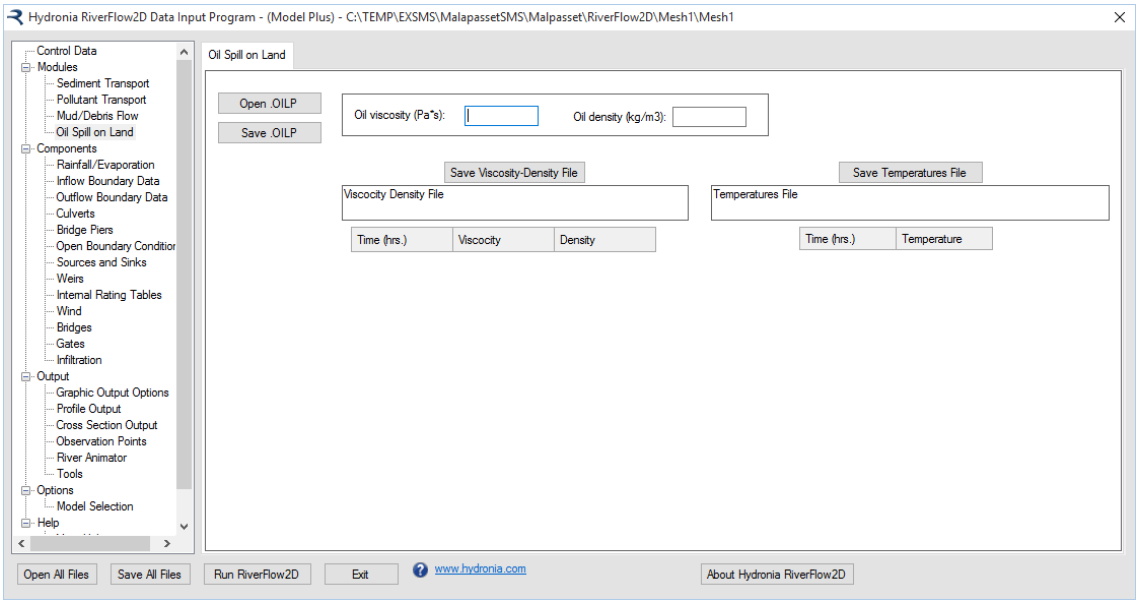


Figure 8.7 – Panel de derrames de petroleo en superficie (modelo OilFlow2D).

Table 8.13 – Parámetros en el panel de derrames de petróleo en superficie (modelo OilFlow2D Plus).

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

8.5 Pestaña de opciones de salida gráfica (fichero .PLT)

Este panel permite introducir las opciones para controlar la salida de RiverFlow2D. Para activar este panel, primero seleccionar *Graphic Output Options* en el grupo *Output* en el panel izquierdo del DIP de RiverFlow2D.

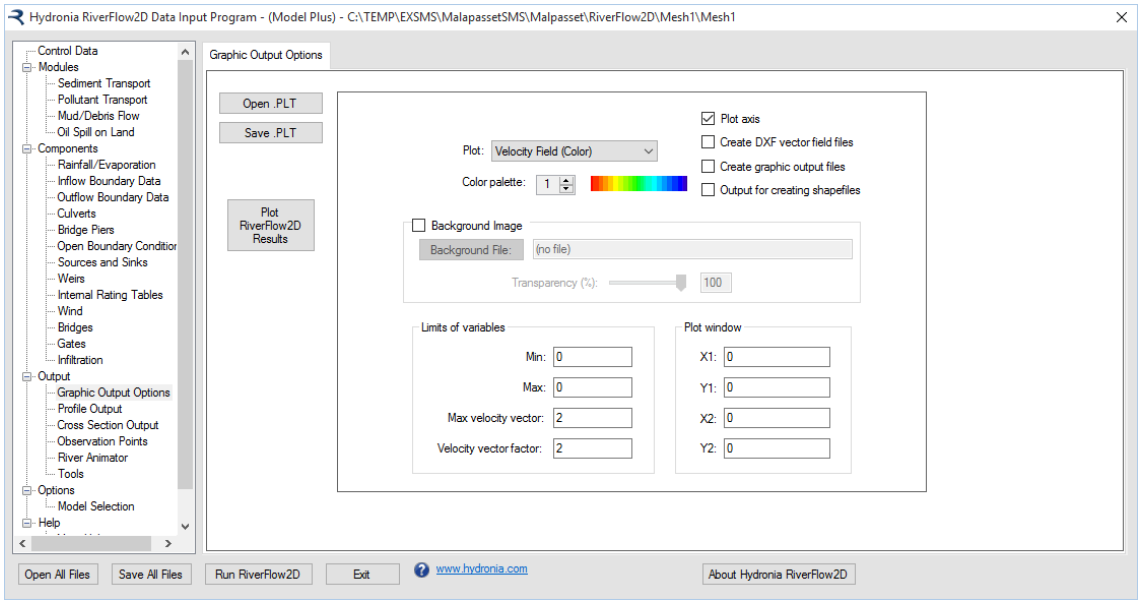


Figure 8.8 – Panel de salida gráfica.

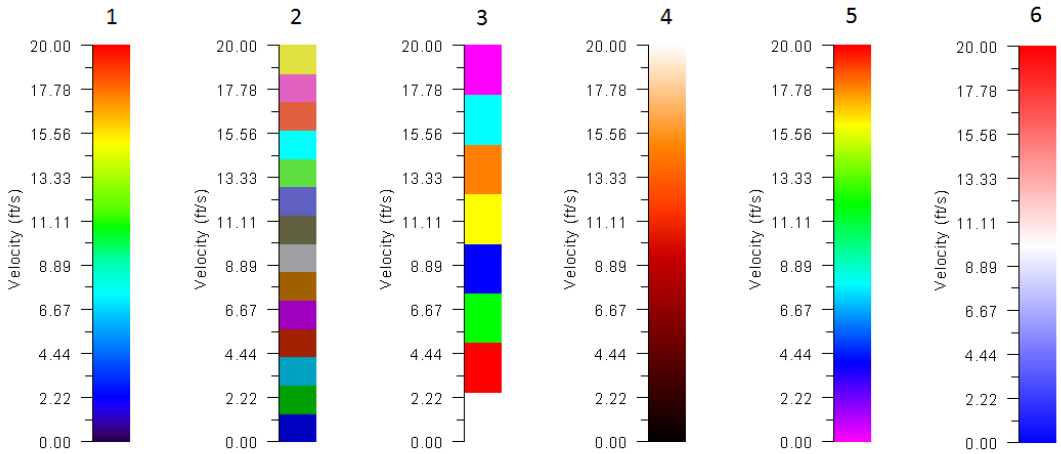


Figure 8.9 – Paletas de color.

Table 8.14 – Parámetros en el panel de opciones de salida gráfica.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Botones	
Open `.PLT`	Abre un fichero de datos de salida `.PLT` existente.
Save `.PLT`	Guarda solamente los datos de salida gráfica a un fichero `.PLT`.
Plot RiverFlow2D Results	Usar este botón para crear archivos de salida y visualizar los resultados de RiverFlow2D de simulaciones existentes. Los archivos de salida para la simulación tienen que estar disponibles.

Continued on next page

Table 8.14 – continued from previous page

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Cuadro de gráficos	
Plot	Elegir el gráfico deseado de la siguiente lista: • Campo de velocidades usando flechas negras. • Campo de velocidades usando flechas coloreadas según la magnitud de la velocidad. • Velocidades en negro sobre calados en color. • Velocidades en negro sobre elevaciones del fondo en color. • Calado de agua. • Elevación del terreno. • Elevaciones de agua. • Velocidades en negro sobre elevaciones del agua en color. • Erosión y deposición. • Concentración
Paleta de color	Elegir entre 6 esquemas de color (ver Figura 8.9).
Dibujar los ejes	Mostrar los ejes en el gráfico.
Crear ficheros DXF de campo vectorial	Generar ficheros DXF (CAD) de vectores velocidad. Esta opción también exportará la malla en formato DXF al archivo: `<ProjectName>_MESH.DXF`.
Crear ficheros de salida gráfica	Genera una imagen raster en formato GIF para cada paso de tiempo reportado.
Salida para crear "'shape files"'	Usando esta opción, RiverFlow2D generará ficheros de apoyo que pueden ser empleados para crear "'shape files"' ESRI para los campos de velocidad, calado y elevación del agua.
Cuadro de imagen de fondo	
Imagen de fondo	Seleccionar esta opción si se desea importar una imagen aérea para gráficos dinámicos.
Fichero 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.
Cuadro de lista de variables	
Min	Valor mínimo a representar del la variable actual elegida en la opción "'Plot"'.
Max	Valor máximo a representar del la variable actual elegida en la opción "'Plot"'.
Vector velocidad máximo	Máximo vector velocidad a graficar.
Factor del vector velocidad	Factor multiplicativo para amplificar las flechas en los gráficos vectoriales.
Cuadro de la ventana de gráfico	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 (fichero .PROFILES)

Usar este panel para introducir las coordenadas de la polilinea donde se representarán los resultados del modelo. RiverFlow2D generará ficheros de salida `.PRFI` y `.PRFE`. Para activar este panel, primero seleccionar *Profile Output* en *Output* desde el grupo *Output* en el panel izquierdo del DIP de RiverFlow2D.

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

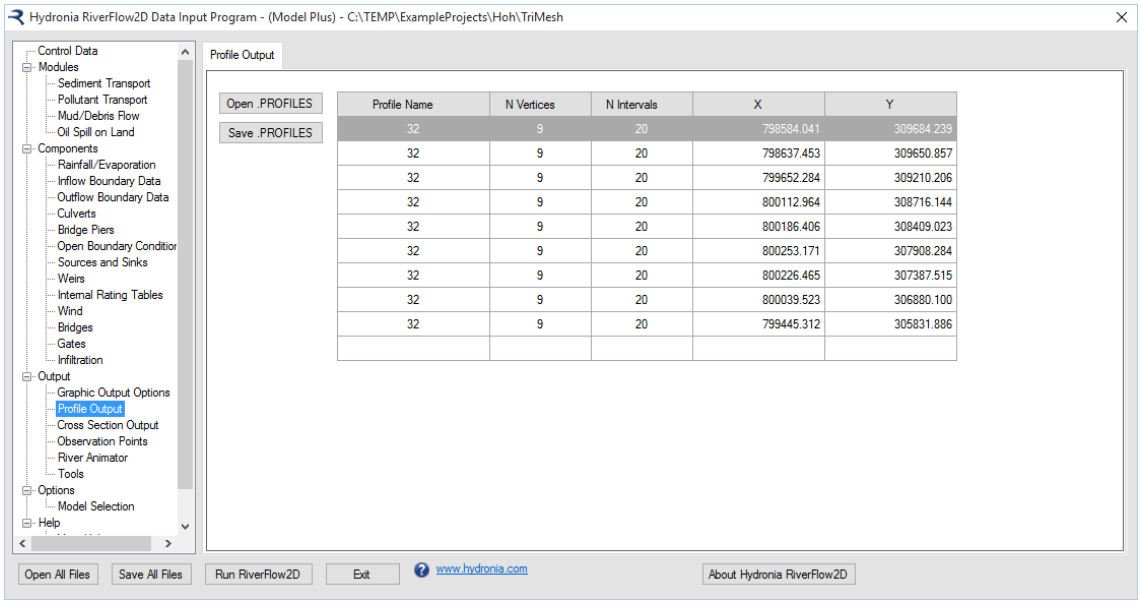


Figure 8.10 – Archivo de salida de perfiles.

Table 8.15 – Parámetros en el panel de salida de perfiles.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Tabla de datos del perfil	
Nombre del perfil	Nombre del perfil. No debe contener espacios y tiene que 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.
Botones	
Open `.PROFILES`	Abre un fichero `.PROFILES` existente.
Save `.PROFILES`	Guarda solamente los datos del perfil en un fichero `.PROFILES`.

8.7 Panel de salida de las secciones transversales (fichero .XSECS)

Usar este panel para introducir las coordenadas para las secciones transversales que intersecte la malla de elementos triangulares donde se desee que el modelo genere resultados. RiverFlow2D generará ficheros `.XSECI` y `.XSECE`. Para activar este panel, primero seleccionaar *Cross Section Output* desde el grupo *Output* en el panel de la izquierda del DIP de RiverFlow2D.

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

Table 8.16 – Parameters on the Inflow Boundary Data Panel.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Tabla de datos de las secciones transversales	
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.
Botones	
Open `.XSECS`	Abre un fichero `.XSECS` existente.
Save `.XSECS`	Guarda solamente los datos de la sección transversal a un fichero `.XSECS`.

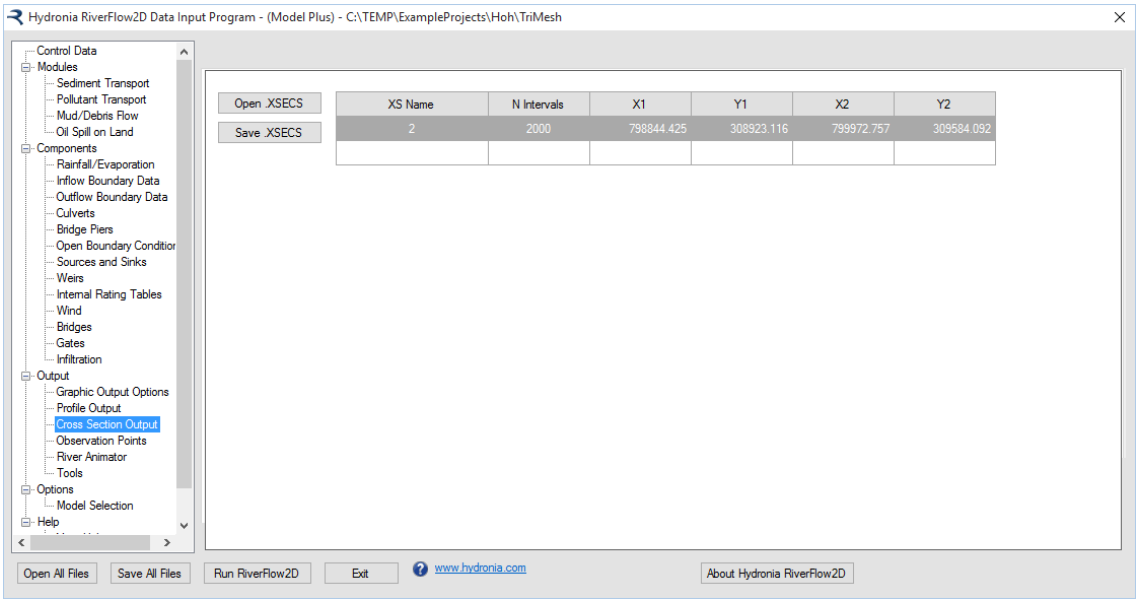


Figure 8.11 – Panel de salida de secciones transversales.

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 DIP de RiverFlow2D.

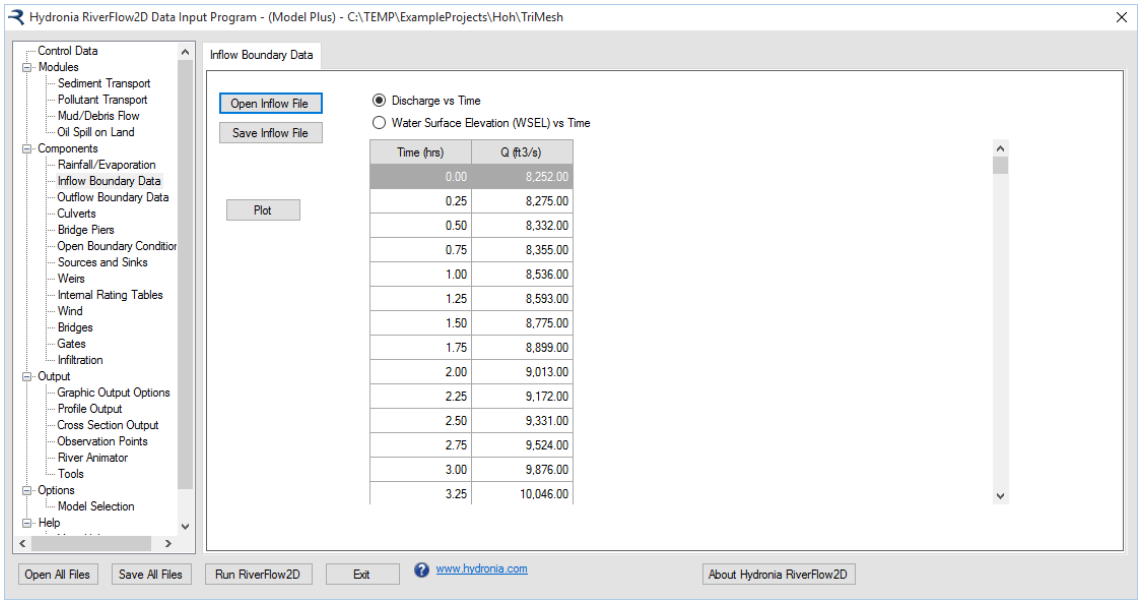


Figure 8.12 – Panel de datos del contorno de entrada.

Usar el botón "'Plot"' para generar un gráfico de la serie temporal, tal como se muestra en la Figura 8.13.

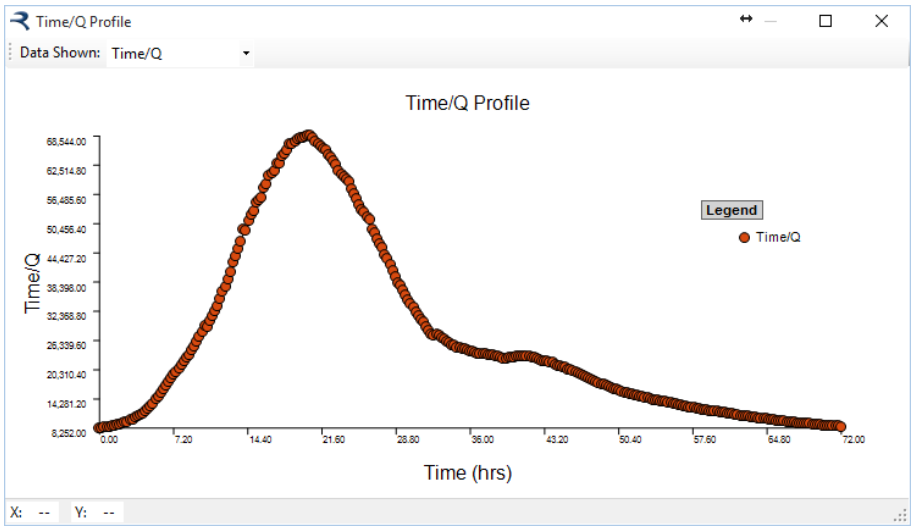


Figure 8.13 – Gráfico de hidrograma de entrada.

Table 8.17 – Parámatros en el panel de datos del contorno de entrada.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Seleccionar el tipo de condición de contorno	
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. timepo.
Tabla de datos	
Tiempo (hrs.)	Tiempo en horas.
Q; WSEL*	Caudal de agua (m^3/s ó ft^3/s); Nivel de la superficie de agua (m ó ft).
Botones	
Open Inflow File	Abre un fichero existente con datos de la entrada.
Save Inflow File	Guarda solamente la tabla de entrada a un fichero.
Plot	Genera un gráfico de la serie temporal.

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

8.9 Outflow Boundary Data Panel

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 DIP de RiverFlow2D.

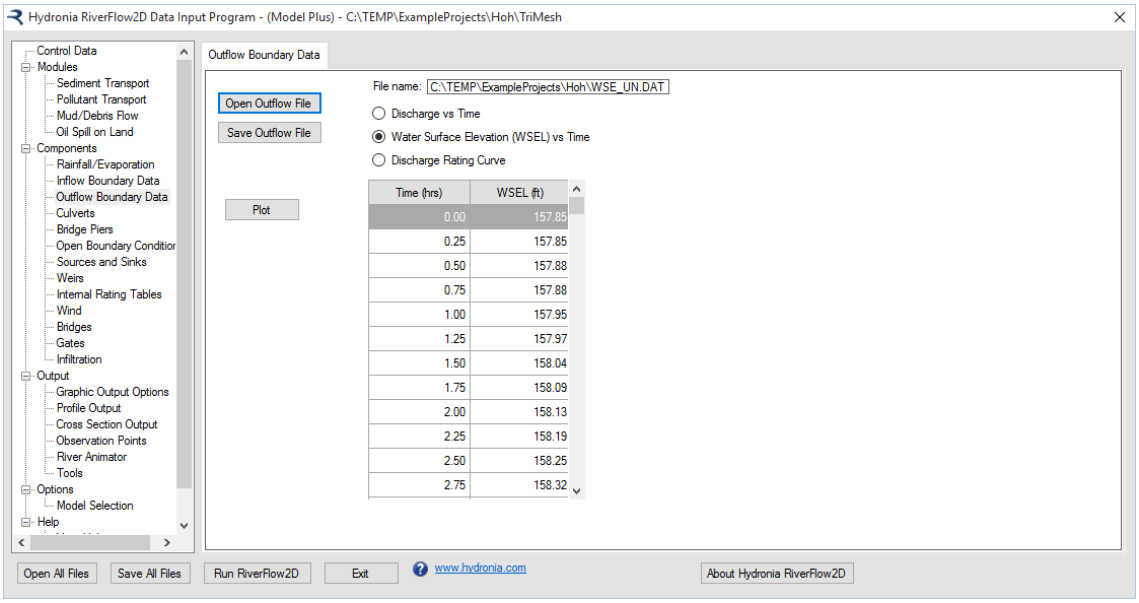


Figure 8.14 – Panel de datos del contorno de salida.

Usar el botón "Plot" para generar un gráfico de la serie temporal

Table 8.18 – Parámetros en el panel de datos del contorno de salida.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Seleccionar el tipo de condición de contorno	
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.
Tabla de datos	
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).
Botones	
Open Outflow File	Abre un archivo existente con los datos de salida.
Save Outflow File	Guarda solamente la tabla de salida a un fichero.
Plot	Genera un gráfico de la serie temporal.

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

8.10 Panel de alcantarillas (fichero .CULVERTS)

Este panel se utiliza para mostrar el contenido del fichero `.CULVERTS` e introducir los datos para las alcantarillas. La Figura 8.15 muestra el panel *Culvert* con tres alcantarillas. Al seleccionar "'Culvert1"' en la primera fila, se muesrtra 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 DIP de RiverFlow2D.

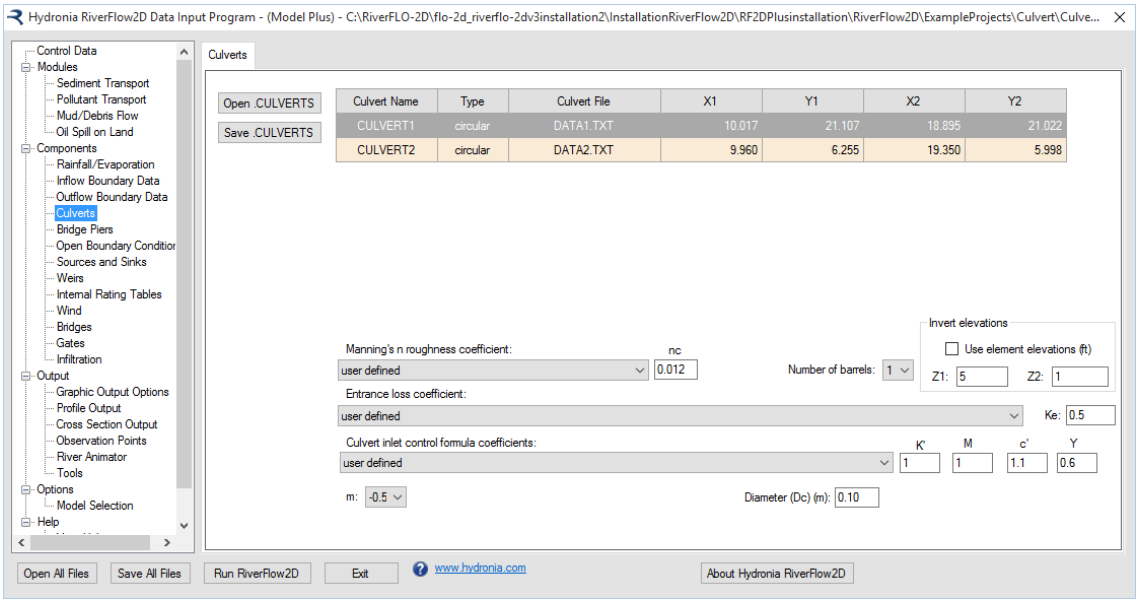


Figure 8.15 – Panel de alcantarillas mostrando los datos en la curva de distribución (rating curve).

La Figura 8.15 muestra los correspondientes controles de datos de entrada que aparecen cuando se selecciona la primera fila para "'Culvert1"' que es una alcantarilla circular.

Table 8.19 – Parámetros en el panel de alcantarillas.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Culvert data	
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 "'Type = 0"', el caudal de la alcantarilla se calcula desde una tabla de distribución (rating table) proporcionada por el usuario en el fichero de la alcantarilla. For "'Types = 1 y "'2"', el caudal se calcula usando las ecuaciones de alcantarilla basadas en las características de la alcantarilla proporcionadas en el fichero.
Fichero de alcantarilla	Nombre del fichero de la tabla de distribución para la alcantarilla o datos característicos de la alcantarilla. El nombre no debe contener espacios y tiene que tener menos de 26 caracteres.
X1, Y1, X2, Y2	Coordenadas de los vértices que definen cada linea de la alcantarilla.
Coeficiente de rugosidad de Manning	Coeficiente de Manning n de la alcantarilla, proporcionado por la Tabla 7.2.

Continued on next page

Table 8.19 – continued from previous page

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Coeficiente de pérdidas a la entrada	Coeficiente de pérdidas a la entrada de la alcantarilla, proporcionado por la Tabla 7.3.
Coeficientes de la fórmula de control de entrada de la alcantarilla	Coeficientes de la fórmula de control de entrada de la alcantarilla proporcionados por la Tabla 7.4.
m	Coeficiente de forma de entrada. m=0.7 para entradas ingleteadas, m=-0.5 para todas las demás entradas.
Altura del Barrel (Hb)	Altura del Barrel para alcantarillas de tipo box (ft ó m). Solamente para alcantarillas de tipo box: CulvertType = 1.
Anchura del Barrel (Base)	Anchura del Barrel para alcantarillas de tipo box (m ó ft). Solamente para alcantarillas de tipo box: CulvertType = 1.
Diámetro (Dc)	Diámetro del Barrel para alcantarillas circulares (m ó ft). Solamente para alcantarillas circulares: CulvertType = 2.
Número de Barrels	Número de Barrel idénticos.
Usar elevaciones de elemento	Cuando se selecciona esta casilla, el modelo extraerá the inlet and outlet invert elevations 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 inlet invert elevation y la outlet invert elevation (Z2) que podrán ser diferentes de las elevaciones del elemento/celda.
Botones	
Open `.CULVERTS`	Abre un fichero `.CULVERTS` existente.
Save `.CULVERTS`	Guarda solamente los datos de la alcantarilla aun fichero `.CULVERTS`.

8.11 Panel de tablas internas de distribución (Internal Rating Tables) (fichero .IRT)

Este panel se usa para mostrar el contenido del fichero `.IRT` and enter data for culverts. En este panel, también es posible editar las polilíneas para las tablas internas de distribución (Internal Rating Tables), el tipo y el nombre del fichero de datos. Para activar este panel, primero se ha de seleccionar *Internal Rating Table* desde el grupo *Components* en el panel izquierdo del DIP de RiverFlow2D.

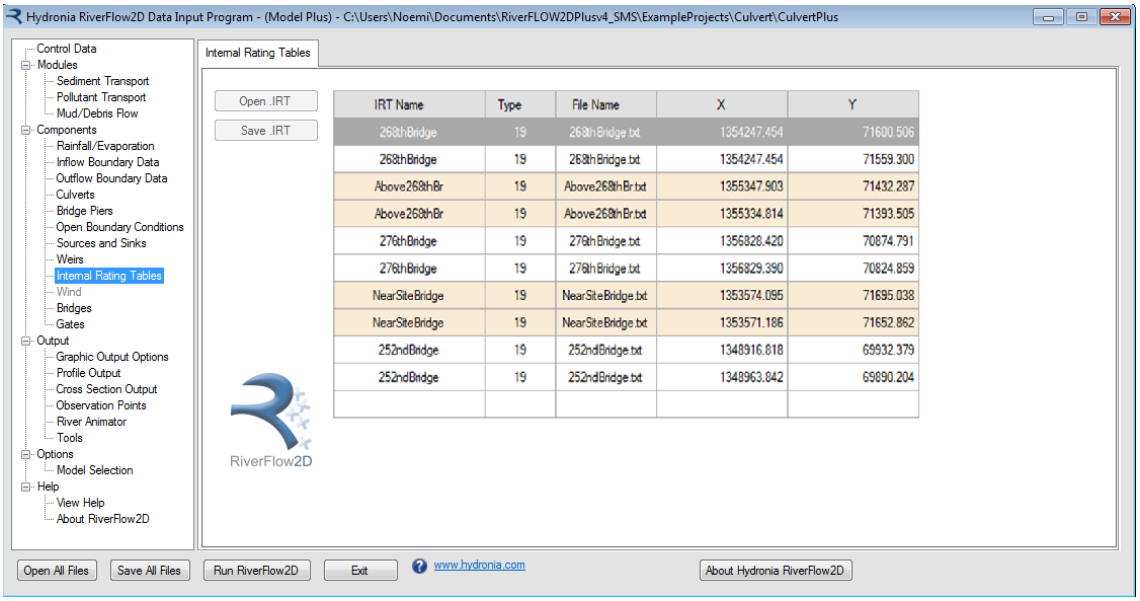


Figure 8.16 – Panel de tablas internas de distribución.

Table 8.20 – Parámetros en el panel de tablas internas de distribución.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Data table	
Nombre de la IRT	Nombre de la tabla interna de distribución (Internal Rating Table). No debe contener espacios y tiene que 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 fichero	Nombre del fichero que contiene los datos de la tabla interna de distribución en el formato descrito como un fichero de datos "'stage-discharge"'
X, Y	Coordenadas de los vértices que definen cara polilínea de la IRT.
Botones	
Open `.IRT`	Abre un fichero `.IRT` existente.
Save `.IRT`	Guarda solamente los datos de la IRT en un fichero `.IRT`.

8.12 Panel de vertederos (fichero .WEIRS)

Este panel se usa para mostrar el contenido del fichero `.WEIRS`. En este panel también se pueden generar los datos de la polilínea del vertedero. Para activar este panel, primero se ha dew seleccionar *Weirs* desde el grupo *Components* en el panel izquierdo del DIP de RiverFlow2D.

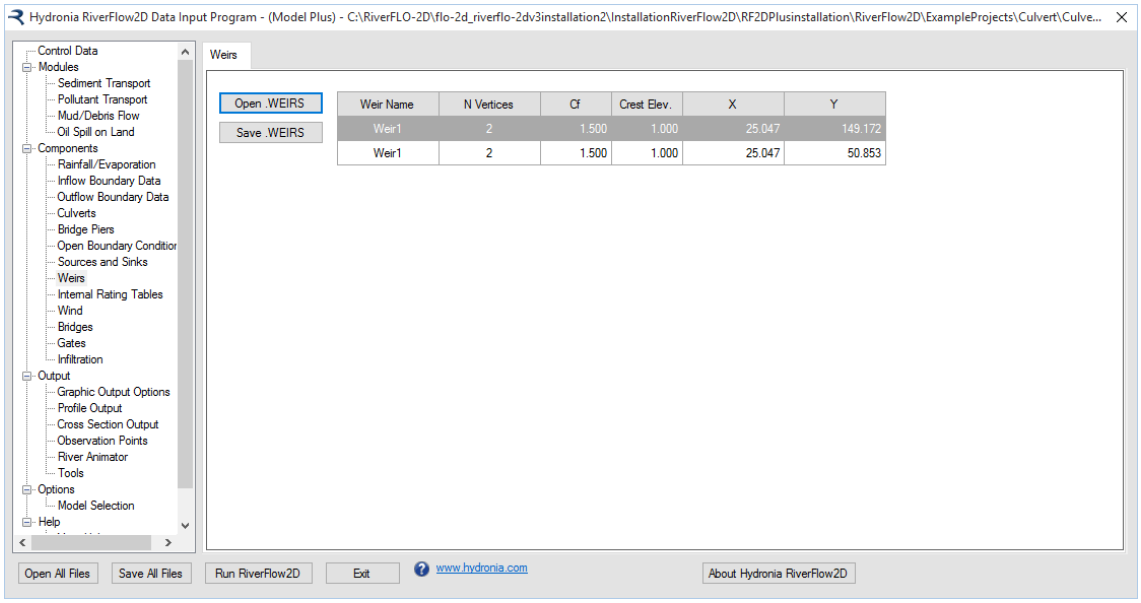


Figure 8.17 – Panel de vertederos.

Table 8.21 – Parámetros en el panel de vertederos.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Data table	
Nombre del vertedero	Nombre del vertedero. No debe contener espacios y tiene que tener menos de 26 caracteres.
N Vértices	Número de puntos que definen cada polilínea del vertedero.
Cf	Coeficiente del vertedero.
X, Y	Coordenadas de los vértices que definen cada polilínea del vertedero (m ó ft).
Botones	
Open `.WEIRS`	Abre un fichero `.WEIRS` existente.
Save `.WEIRS`	Guarda solamente los datos del vertedero a un fichero `.WEIRS`.

8.13 Panel de fuentes/sumideros (archivo .SOURCES)

Este panel se usa para mostrar el contenido del fichero `.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 *Sources and Sinks* desde el grupo *Components* en el panel izquierdo del DIP de RiverFlow2D.

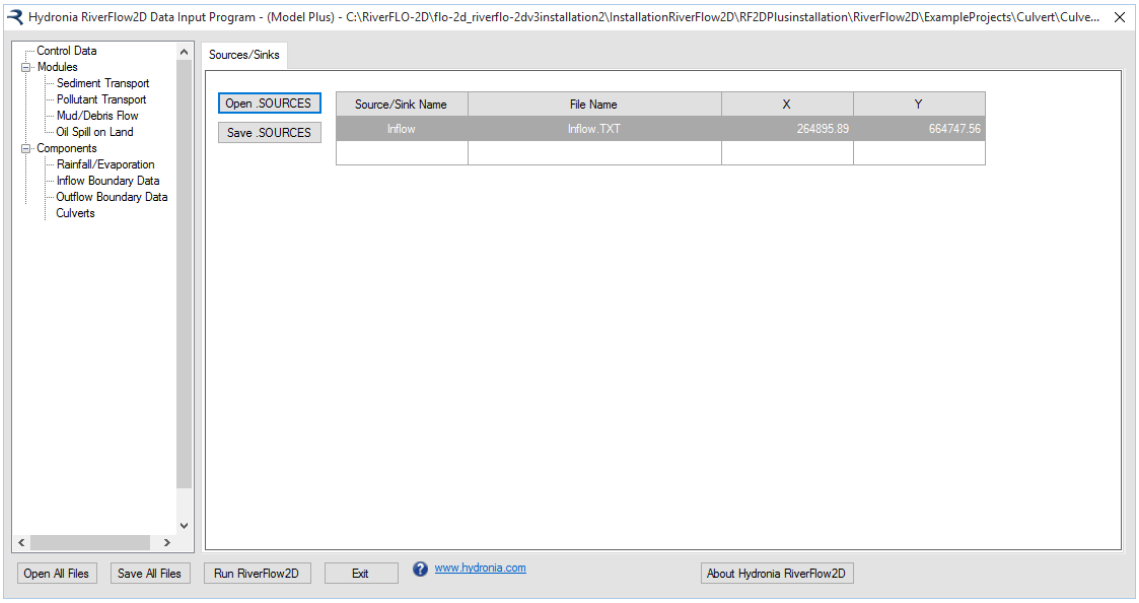


Figure 8.18 – Panel de fuentes/sumideros.

Table 8.22 – Parámetros en el panel de fuentes/sumideros.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Tabla de datos	
Nombre de la fuente o sumidero	Nombre de la fuente o sumidero puntual. No debe contener espacios y tiene que tener menos de 26 caracteres.
Nombre del fichero	Nombre del fichero que contiene la serie temporal de cada punto fuente o sumidero.
X, Y	Coordenadas del punto.
Botones	
Open `.SOURCES`	Abre un fichero `.SOURCES` existente.
Save `.SOURCES`	Guarda solamente los datos de fuentes/sumideros a un archivo `.SOURCES`.

8.14 Panel de condiciones de contorno abiertas (Fichero .IFL)

Este panel se usa para mostrar el contenido del fichero `.IFL`. Debido a que este fichero se genera automáticamente por el modelo RiverFlow2D basado en la entrada de datos del usuario en la interfaz SMS, cualquier cambio realizado será ignorado al lanzar el modelo. Para activar este panel, primero seleccionar *Open Boundary Conditions* desde el grupo *Components* en el panel izquierdo del DIP de RiverFlow2D.

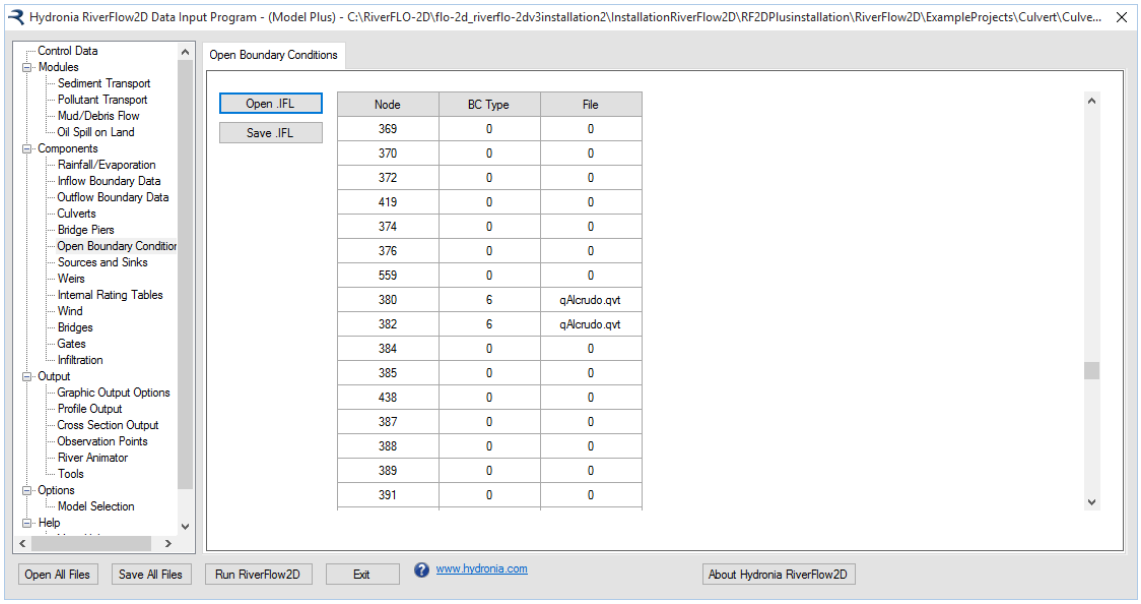


Figure 8.19 – Panel de condiciones de contorno abiertas.

Table 8.23 – Parámetros en el panel de condiciones de contorno abiertas.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Table de datos	
Nodo	Número de nodo.
BC Type	Código para identificar el tipo de contorno abierto. Ver las opciones de condiciones de contorno en la sección de la descripción del fichero `.IFL`.
Fichero	Nombre del fichero de condiciones de contorno. No debe contener espacios y tiene que tener menos de 26 caracteres.
Botones	
Open `.IFL`	Abre un fichero `.IFL` existente.
Save `.IFL`	Guarda solamente los datos de las condiciones de contorno abiertas a un fichero `.IFL`.

8.15 Panel de los pilares de los puentes (fichero .PIERS)

Este panel se usa para mostrar el contenido del fichero `.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 DIP de RiverFlow2D.

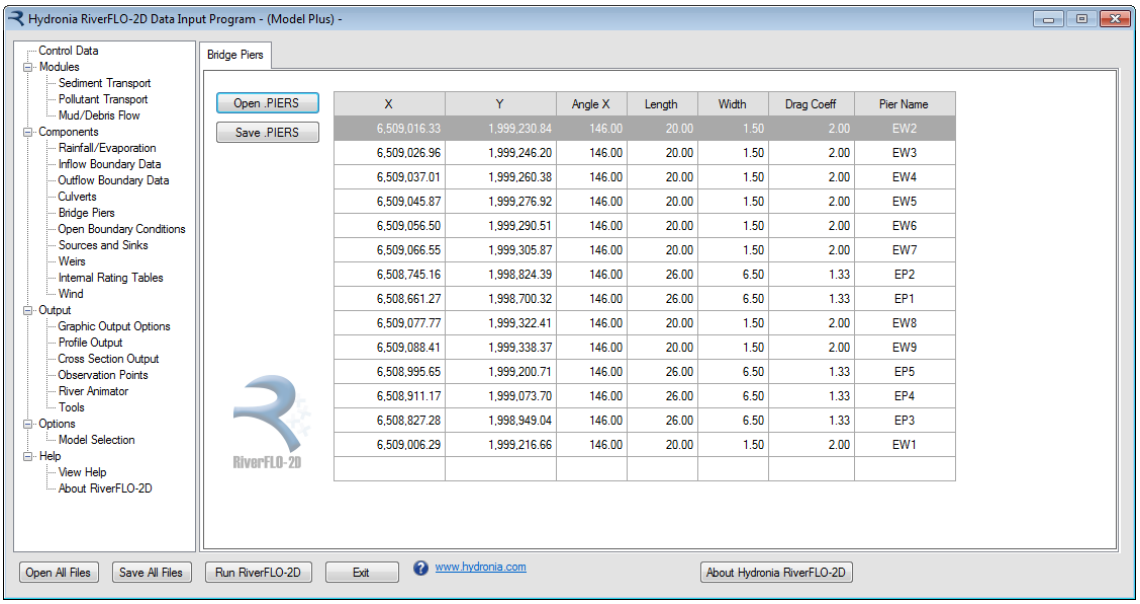


Figure 8.20 – Panel de los pilares del puente.

Table 8.24 – Parámetros en el panel de los pilares del puente.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Tabla de datos	
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).
Coeficiente de arrastre	Coeficiente de arrastre del pilar.
Nombre del pilar	Nombre del pilar. No debe contener espacios y tiene que tener menos de 26 caracteres.
Botones	
Open `.PIERS`	Abre un fichero `.PIERS` existente.
Save `.PIERS`	Guarda solamente los datos de los pilares del puente a un fichero `.PIERS`.

8.16 Panel de los puntos de observación (fichero .OBS)

Usar este panel para crear, editar y mostrar el contenido del fichero `.OBS`. Para activar este panel, primero seleccionar *Observation Points* desde el grupo *Output* en el panel izquierdo del DIP de RiverFlow2D.

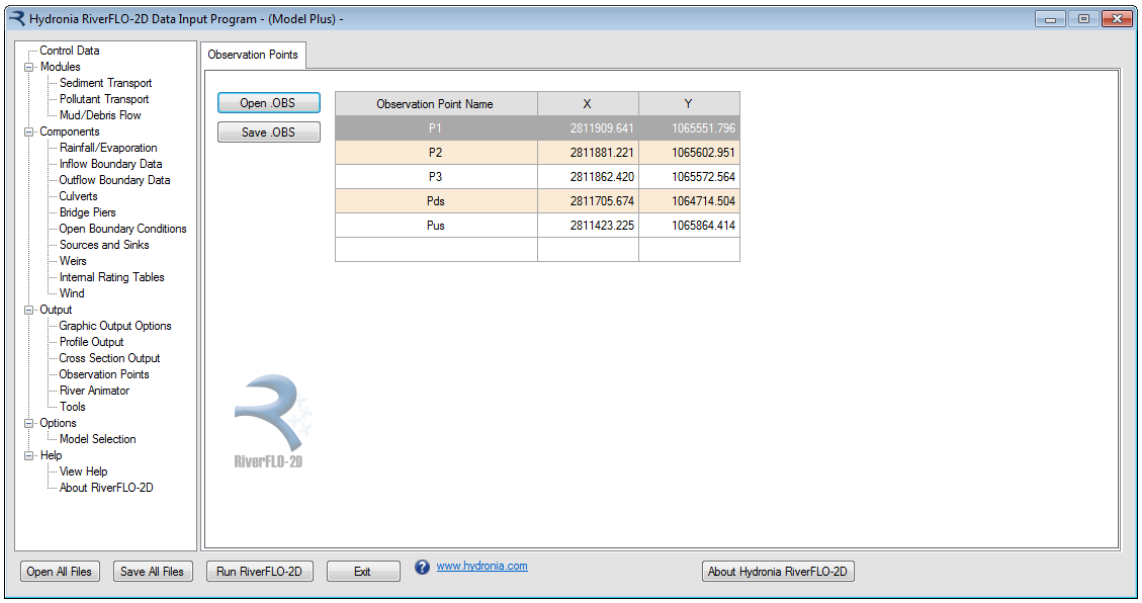


Figure 8.21 – Panel de puntos de observación.

Table 8.25 – Parámetros en el panel de los puntos de observación.

NOMBRE DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN
Tabla de datos	
Nombre del punto de observación	Nombre del punto de observación. No debe contener espacios y tiene que tener menos de 26 caracteres.
X,Y	Coordenadas del punto.
Botones	
Open `.OBS`	Abre un fichero `.OBS` existente.
Save `.OBS`	Guarda solamente los datos del punto de observación a un fichero `.OBS`.

8.17 Panel de herramientas

This section describes various utilities that are available through the RiverFlow2D Data Input Program.

8.17.1 Intérprete de resultados del modelo bidimensional: 2dMRI

2dMRI es una utilidad de RiverFlow2D desarrollada por Northwest Hydraulic Consultants (`http://www.nhc-sea.com`). El programa reune los datos de salida de RiverFlow2D y genera gráficos y animaciones de las secciones transversales, perfiles y puntos de observació.

Para acceder al programa, primero se ha de seleccionar *Tools* desde el grupo *Output* en el panel izquierdo del DIP de RiverFlow2D.

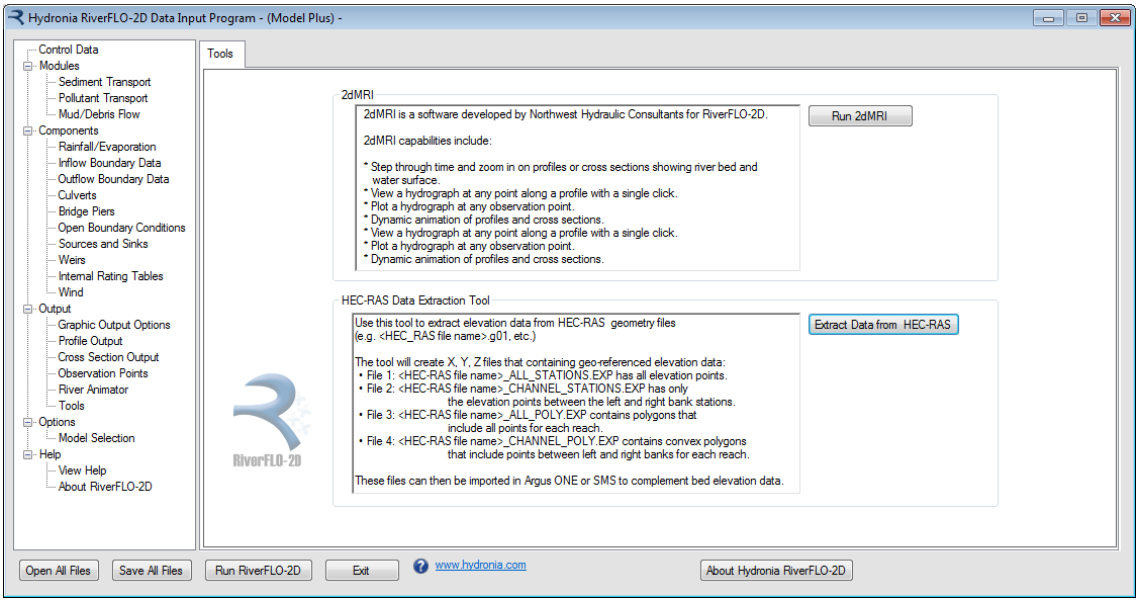


Figure 8.22 – Intérprete de resultados del modelo bidimensional: 2dMRI.

La explicación y consejos sobre como emplear la utilidad 2dMRI se describen en el manual de 2dMRI incluido en la carpeta de documentación:

...\Documents\RiverFlow2Dv4\Documentation.

8.17.2 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 RiverFlow2D. El programa permita 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 ficheros de geometría de HEC-RAS con la extensión `.g01`, `.g02`, etc. y crea ficheros X Y Z que pueden ser importados en SMS. 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.

Table 8.26 – Ficheros generados por la herramienta de extracción de datos de HEC-RAS.

NOMBRE DEL FICHERO	DESCRIPCIÓN
<HEC-RASfilename>_ALL_STATIONS.EXP	Esta frase no tiene sentido: Contains all elevation points in all cross sections in the for all reaches and cross sections in the <HEC-RASfilename>.g0? file.
<HEC-RASfilename>_ALL_POLY.EXP	Contiene polígonos que incluyen todos los puntos de elevación en cada reach.
<HEC-RASfilename>h0_CHANNEL_STATIONS.EXP	Contiene solamente los puntos de elevación entre los bancos izquierdo y derecho en todas las secciones in the for all reaches in the <HEC-RASfilename>.g0? file.
<HEC-RASfilename>_CHANNEL_POLY.EXP	Contiene polígonos que incluyen solamente la elevación en el canal principal de cada reach

To activate this panel, first select the *Tools* from the *Output* group on the left panel of the RiverFlow2D DIP.

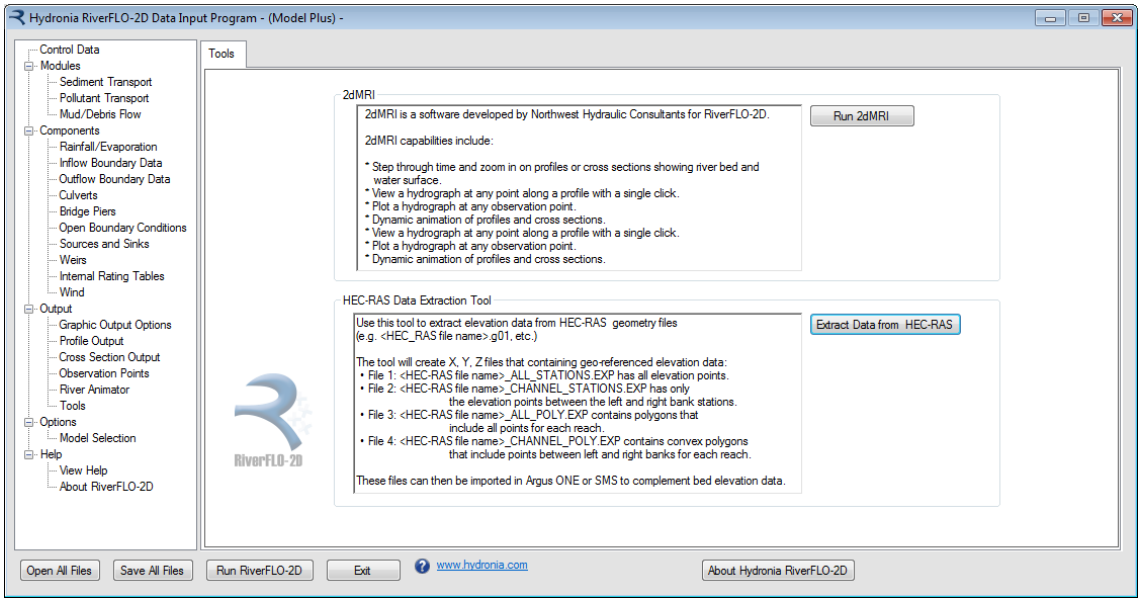


Figure 8.23 – Intérprete de los resultados del modelo bidimensional: 2dMRI.

El tutorial: "Usando los datos de elevaciones de HEC-RAS" en la guía de usuario de RiverFlow2D describe en detalle el procedimiento para emplear esta herramienta.

9

Referencia de ficheros de entrada de datos

Los datos para la información no espacial requerida para simular con el modelo RiverFlow2D son creados por el DIP (Data Input Program o Programa de entrada de datos) y los datos espaciales son generados en base al fichero `.2dm`. Todos los ficheros de entrada de RiverFlow2D 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 extrema y solamente después de haber adquirido un profundo conocimiento sobre los formatos de ficheros de RiverFlow2D. Esta sección explica los ficheros de entrada de datos y los parámetros incluidos en cada uno.

La instalación del programa RiverFlow2D 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:

.\Documents\RiverFlow2D_SMS\ExampleProjects.

Los ficheros de datos de RiverFlow2D tendrán el mismo nombre y usarán las extensiones listadas en la tabla inferior. Por ejemplo, una simulación de nombre *Run1* tendrá una serie de ficheros denominados `Run1.DAT`, `Run1.FED`, etc. La siguiente tabla resume los ficheros de datos usados porel modelo RiverFlow2D.

Table 9.1 – Listado de ficheros de entrada.

NOMBRE	EXTENSIÓN DEL FICHERO	DEPENDENCIAS	CONTENIDO
SMS			
Fichero de proyecto de SMS	`.SMS`	Requerido cuando se usa SMS GUI	Este es el fichero del proyecto donde SMS almacena la malla de elementos triangulares, los datos y la proyección.
Fichero 2DM	`.2DM`	Requerido cuando se usa SMS GUI	Este es el fichero donde SMS almacena todos los datos para una simulación usando la malla genérica.
FICHEROS INDIVIDUALES DE DATOS CREADOS DESDE EL *2DM			
FICHEROS DE DATOS ESPACIALES			
Datos de elevaciones	cualquiera	Requerido	Puntos con los datos de elevación.

Continued on next page

Table 9.1 – continued from previous page

V			
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`	Fichero interno	Listado de nodos de contorno, tanto externos como de tipo isla. Este fichero es generado automáticamente por RiverFlow2D.
Condiciones de contorno I/O	`.IFL`	Fichero interno	Listado de nodos de contorno externos, condiciones de entrada y salida. Este fichero es generado automáticamente por RiverFlow2D.
Fichero nodal de condiciones de contorno	`.OBCP`	Requerido	Listado de condiciones de contorno externas. Para cada contorno, contiene la lista de nodos y el fichero de datos asociado. Este fichero es generado automáticamente por RiverFlow2D, basándose en la información en el archivo `.FED`.
FICHEROS DE CONTROL			
Datos de control de la simulación	`.DAT`	Requerido	Opciones generales de control de la simulación, inluyendo 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 extremales.
Salida de perfiles	`.PROFILES`	Opcional	Línea en la malla a lo largo de la cual se obtienen los resultados.
CONDICIONES DE CONTORNO			
Ficheros con serie temporal o tabla de distribución 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 fichero para cada condición de contorno abierta, excepto las condiciones de tipo *libre*.
Concentración inicial de cada contaminante	`.CINITIAL`	Se selecciona la componente de transporte de contaminantes	Define las concentraciones iniciales sobre la malla.
FICHEROS DE COMPONENTES			
Puentes	`.BRIDGES`	Se selecciona la componente de puentes	El fichero con la geometría de la sección transversal s emplea para calcular pérdidas energéticas.
Alcantarillas	`.CULVERTS`	Se selecciona la componente de alcantarillas	Ficheros de datos con la localización de la alcantarilla y sus datos asociados.
Compuertas	`.GATES`	Se selecciona la componente de compuertas	Ficheros de datos con la localización de la compuerta y su apertura asociada.
Infiltración	`.LRAIN`	Se selecciona la componente de infiltración	Infiltration parameters data file.
Tablas de distribución interna (Internal rating tables, IRT)	`.IRT`	Se selecciona la componente de IRT	Datos para imponer IRTs a lo largo de contornos internos.

Continued on next page

Table 9.1 – continued from previous page

V			
Coeficiente n de Manning variable con el calado	`.MANNN`	Creado a partir de polígonos en la capa *ManningsNz*	Provee los parámetros necesarios para tener en cuenta la dependencia del coeficiente de rugosidad de Manning con el calado, de acuerdo con una tabla proporcionada por el usuario.
Lodos	`.MUD`	Se selecciona la componente de flujo de lodos/escombros	Provee los parámetros necesarios para modelizar el flujo de lodos y escombros.
Derrames de petróleo	`.OILP`	Se selecciona la componente de derrames superficiales de petróleo	Provides the parameters necessary to model overland oil spills.
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.
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 fichero contiene la localización de las fuentes de caudal de entrada o los sumideros de caudal de salida, así como los ficheros asociados con la serie temporal de caudal.
Weirs	`.WEIRS`	Se selecciona la componente de vertederos	Este fichero contiene las polilíneas del vertederos y datos asociados al mismo.
Viento	`.WIND`	Se selecciona la componente de viento	Este fichero contiene datos sobre la densidad específica del viento y la velocidad.

9.1 Datos del control de simulación

9.1.1 Fichero de datos del control de simulación: .DAT

Este fichero 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 FUTUREUSE

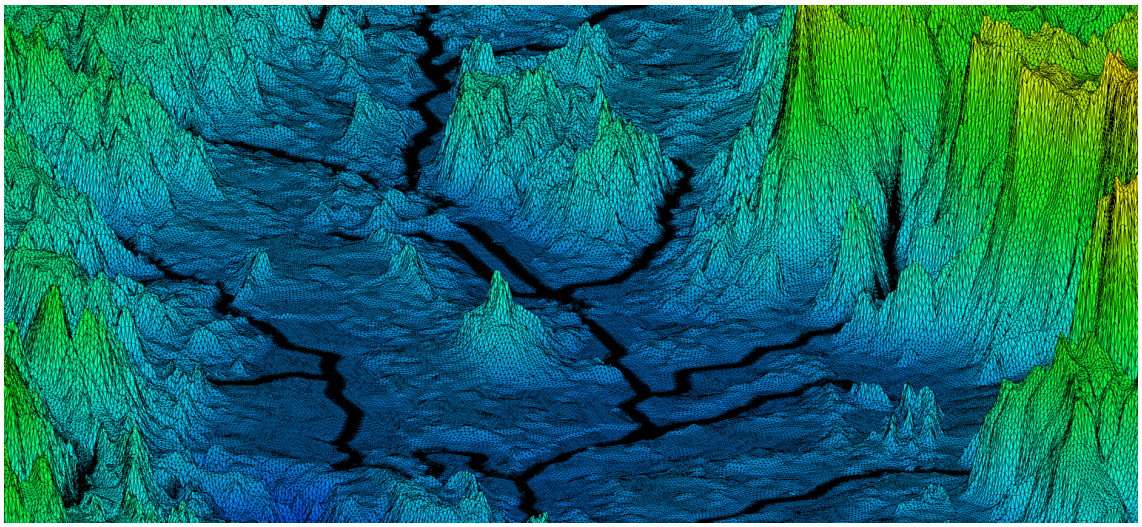


Figure 9.1 – Ejemplo de una malla de RiverFlow2D.

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 TLIMT

Línea 7: Activadores del control de condiciones iniciales y *hot start*.
IINITIAL IHOTSTART

Línea 8: Activador del coeficiente de Manning variable con el calado.
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 calado 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/escombros.
IMUD

Línea 17: Número de núcleos o ID de la GPU.
IDGPU

Línea 18: Interfaz gráfica de usuario que generó los ficheros.
IGUI

9.1.1.1 Ejemplo de fichero .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
1
```

Table 9.2 – Descripción de las variables para el fichero .DAT.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
CFL	R	$(0, 1]$	-	Se aplica a los modelos RiverFlow2D Plus y RiverFlow2D Plus 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 RiverFlow2D Plus.

Continued on next page

Table 9.2 – continued from previous page

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
HMIN	R	-1 or > 0	m/ft	En RiverFlow2D Plus, HMIN es el límite de calado para los cálculos de seco-mojado. Si el calado es menos que HMIN, la velocidad de la celda se impondrá como 0. Si HMIN=-1, todas las celdas con calados menores que 10^{-6} se considerarán secas.
IADDISP	I	0,1	-	Inhterruptor para activar el modelo de transporte de contaminantes. 1. Apaga los cálculos de transporte de contaminantes. 2. Aplica el transporte de contaminantes.
IBRIDGES	I	0,1	-	Interruptor para activar la componente de puentes. 1. 0: Apaga la componente de puentes. 2. 1: Aplica la componente de puentes. Requiere el fichero `.BRIDGES`. Ver los detalles en la Sección *Puentes* de este manual.
ICULVERTS	I	0,1	-	Interruptor que indica si se usarán las alcantarillas unidimensionales. 1. 0: No se usarán alcantarillas. 2. 1: Se usarán alcantarillas. Requiere el fichero `.CULVERTS`. Ver los detalles en la Sección *Alcantarillas* de este manual.
IDAMS	I	0,1	-	Interruptor para activar la componente Dam Breach. 1. 0: Apaga la componente Dam Breach. 2. 1: Aplica la componente Dam Breach. Requiere el fichero `.DAMBREACH`. Ver los detalles en la Sección *Dam Breach* de este manual.

Continued on next page

Table 9.2 – continued from previous page

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
IDGPU	I	≥ 0	-	RiverFlow2D Plus: Este parámetro indica cuántos procesadores o núcleos será usados en el cálculo en paralelo. El número máximo dependerá de las capacidades del procesador. RiverFlow2D Plus GPU: Si el ordenador dispone de múltiples tarjetas GPU, este parámetro permite seleccionar qué tarjeta será empleada para la simulación. Dado que el modelo permite solamente una simulación por tarjeta, este parámetro permite realizar simulaciones simultáneas en tarjetas diferentes.
IEXTREMES	I	0,1	-	Interruptor para reportar valores máximos a lo largo de la simulación. 1. 0: No reporta valores máximos. 2. 1: Reporta valores máximos.
IGATES	I	0,1	-	Interruptor para activar la componente de compuertas. 1. 0: Apaga la componente de compuertas. 2. 1: Aplica la componente de compuertas. Requiere el fichero `.GATES`. Ver los detalles en la Sección *Compuertas* de este manual.
IGUI	I	1, 2, 3	-	Este parámetro indica qué interfaz gráfica de usuario fue usada para generar los ficheros de RiverFlow2D. 1. Aguaveo SMS 2. QGIS
IHOTSTART	I	0,1	-	Interruptor para comenzar la simulación desde cero o continuar desde una simulación previa. 1. 0: Comenzar la simulación desde el tiempo inicial. 2. 1: Comenzar la simulación desde una simulación previa.

Continued on next page

Table 9.2 – continued from previous page

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
IINTRC	I	0,1	-	Interruptor para las tablas de distribución internas (Internal Rating Tables). 1. 0: No usar la componente IRT. 2. 1: Usar la componente IRT. Ver detalles en la Sección *Internal Rating Tables* de este manual.
IINITIAL	I	0,1,2,-9999	-	Interruptor para la condición inicial de nivel de agua. 1. 0: Nivel de agua horizontal. 2. 1: Fondo seco en toda la malla. 3. 2: Niveles de agua iniciales leídos del fichero `.FED`. 4. -9999: asigna un nivel de agua horizontal igual al máximo valor de la elevación del fondo más 0.5 m (1.64 ft). Ver comentario 3. a horizontal water elevation equal to the maximum bed elevation plus 0.5 m seguro??. (1.64 ft.). See comment 3.
INITIAL_WSE	R	-	m/ft	Nivel inicial de agua en la malla. Éste será el nivel inicial de la superficie del agua si IINITIAL es 0. Ver comentario 3.
IMANN	I	1,2	-	Interruptor para el coeficiente n de Manning variable con el calado. 1. 0: El coeficiente n de Manning es constante para todos los calados. 2. 1: El coeficiente n de Manning puede variar con el calado tal como se define en el fichero `.MANNN`.
IMS	I	1,2	-	Interruptor para seleccionar el motor del modelo hidrodinámico. 1. 1: RiverFlow2D Plus. 2. 2: RiverFlow2D Plus GPU.

Continued on next page

Table 9.2 – continued from previous page

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
IMUD	I	0,1	-	Interruptor para activar el modelo de flujo de lodo/escombros. 1. 0: No simular con el modelo de flujo de lodo/escombros. 2. 1: Simular con el modelo de flujo de lodo/escombros. Requiere el fichero `.MUD`. Ver detalles en la Sección *Modelo de flujo de lodo/escombros* de este manual.
IOBS	I	0,1	-	Interruptor para reportar series temporales de resultados en localizaciones específicas definidas por coordenadas. 0. No reportar los resultados de puntos de observación. 1. Reportar los resultados de puntos de observación. Requiere el fichero `.OBS`. Ver detalles en la Sección *Puntos de observación* de este manual.
IPIERS	I	0,1	-	Interruptor para permitir considerar la fuerza de rozamiento con el pilar del puente. 1. No usar la opción de fuerza de rozamiento con el pilar del puente. 2. Usar la opción de fuerza de rozamiento con el pilar del puente. Requiere el fichero `.PIERS`. Esta opción puede ser usada si la malla no considera la geometría del pilar de puente. Ver detalles en la Sección *Pilares de puente* de este manual.
IPOLLUTANT	I	0,1	-	Interruptor para activar el modelo de transporte de contaminantes. 1. No simular con el modelo de transporte de contaminantes. 2. Simular con el modelo de transporte de contaminantes. Requiere el fichero `.AD`. Ver detalles en las Sección *Modelo de transporte de contaminantes* de este manual.

Continued on next page

Table 9.2 – continued from previous page

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
IPROFILE	I	0,1	-	Interruptor para controlar la salida de los perfiles. 1. No se generan resultados de perfiles. 2. Se generan resultados de perfiles. Requiere el fichero `.PROFILES`. Ver comentario 4.
IRAIN	I	0-4	-	Interruptor para la entrada de lluvia y evaporación. 1. No se modeliza la lluvia. 2. No se usa. 3. Lluvia/evaporación. 4. Infiltración. 5. Lluvia/evaporación e infiltración.
ISED	I	0,1	-	Interruptor para el transporte de sedimentos. 1. No se modeliza el transporte de sedimentos. 2. Se simulará el transporte de sedimentos, erosión del fondo móvil y deposición. Requiere el fichero `.SED`. Ver detalles en las Sección *Transporte de sedimentos* de este manual.
ISOURCES	I	0,1	-	Interruptor para las fuentes y sumideros. 1. No hay fuentes ni sumideros. 2. Hay fuentes ni sumideros. Requiere el fichero `.SOURCES`. Ver detalles en las Sección *Fuentes* de este manual.
IWEIRS	I	0,1	-	Interruptor para considerar el cálculo de vertederos en contornos internos. 1. No considera el cálculo de vertederos en contornos internos. 2. Considera el cálculo de vertederos en contornos internos. Ver detalles en las Sección *Vertederos* de este manual.

Continued on next page

Table 9.2 – continued from previous page

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
IWIND	I	0,1	-	Interruptor para considerar el esfuerzo del viento sobre la superficie del agua. 1. No considera el esfuerzo del viento. 2. Considera el esfuerzo del viento. Requiere el fichero `.WIND`. Ver detalles en las Sección *Esfuerzo del viento* de este manual.
IXSEC	I	0,1	-	Interruptor para la salida de las secciones transversales. 1. No se generarán resultados para las secciones transversales. 2. Se generarán resultados para las secciones transversales. Requiere el fichero `.XSECS`. Ver comentario 5.
NUNITS	I	0,1	-	Variable para identificar el sistema de unidades: 1. Unidades métricas. 2. Unidades inglesas.
RELEASE	I	-	-	Número de versión usado internamente como referencia. No debe ser modificado.
TLIMT	R	> 0	hrs.	Tiempo total de simulación.
TOUT	R	$\leq TLIMT$	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 fichero .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 RiverFlow2D 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-Frederick-Lewy, definida como sigue:

$$CFL = \frac{\Delta t \sqrt{gh}}{\Delta x} \leq 1 \tag{9.1}$$

donde Δt = DT es el paso de tiempo, Δx es una medida del tamaño mínimo de los elementos o celdas triangulares, g es la aceleración de la gravedad, y h es el calado. 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 el calado 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 timepo variable.

2. Para simulaciones con un paso de tiempo variable, RiverFlow2D estima el máximo DT usando la condición de Courant-Frederick-Lewy (CFL). A veces, el DT estimado puede ser demasiado alto, lo que conlleve a inestabilidades. Este 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 asuma un calado > 0para el primer paso de tiempo. Si IINITIAL = 2, los niveles iniciales de agua se leerán del fichero de datos `.FED` para cada nodo de la malla. Estas elevaciones iniciales pueden ser impuestas creando un fichero de datos (`.h5`) en una capa de SMS , y pueden ser arbitrarios. Esta última opción permite modelizar casos donde parte del dominio este inundado (e.g. un reservorio) y otras partes de la malla estén secas. Las velocidades iniciales se asumen siempre como 0.

4. Usar la opción IPROFILE para permitir que RiverFlow2D genere resultados a lo largo de una polilínea. La polilínea y otros datos requeridos deben darse en el fichero de perfiles (`.PROFILES`), el cuál se define más adelante en este documento.

5. Usar esta opción qué opción? para permitir a RiverFlow2D generar resultados a lo largo de secciones transversales. Las secciones transversales y otros datos requeridos deben darse en el fichero de secciones transversales (`.XSECS`), el cuál se define más adelante en este documento.

6. Usar la opción XNMAN para comporbar 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 ficheros 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 Fichero de datos de la malla: .FED

Este fichero 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 fichero se genera con el GUI de SMS . La plantilla para RiverFlow2D proporcionada con SMS asegura que el fichero `.FED` será creado sin errores y será consistente con las condiciones de contorno y otros parámetros de la malla. Editar manualmente este fichero puede introducir errores inesperados.

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 fichero .FED

```
1773 954 5 5
1 798427.180 305984.903 160.800 0.000 -9999.000 0 0
2 798375.129 305901.823 160.400 0.000 -9999.000 11 0
3 798456.481 305851.866 160.600 0.000 -9999.000 11 0
4 800145.687 304890.733 166.800 0.000 -9999.000 11 0
5 800164.855 304802.764 162.400 0.000 -9999.000 11 0
6 800219.908 304878.337 171.200 0.000 -9999.000 0 0
7 800083.504 304852.721 161.800 0.000 -9999.000 11 0
8 798619.614 309561.972 161.834 0.000 -9999.000 0 0
9 798519.268 309583.373 161.736 0.000 -9999.000 6 qin_UN.dat
10 798566.714 309501.694 162.334 0.000 -9999.000 0 0
11 798579.326 309637.425 160.892 0.000 -9999.000 6 qin_UN.dat
-
-
-
1 1 2 3 0.040 160.400 0.000 -9999.000 0.000
2 4 5 6 0.040 163.200 0.000 -9999.000 0.000
3 4 7 5 0.040 161.350 0.000 -9999.000 0.000
4 8 9 10 0.040 162.322 0.000 -9999.000 0.000
5 8 11 9 0.040 161.238 0.000 -9999.000 0.000
6 12 11 8 0.040 160.944 0.000 -9999.000 0.000
7 12 13 11 0.040 160.634 0.000 -9999.000 0.000
8 14 13 12 0.040 159.446 0.000 -9999.000 0.000
9 14 15 13 0.040 159.544 0.000 -9999.000 0.000
-
-
```

Esta malla tiene 1773 elementos y 954 nodos.

Table 9.3 – Descripción de las variables para el fichero .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 fichero `.IFL` más adelante.
BCFILENAME	S	< 26	-	Nombre del fichero de condiciones de contorno. No debe contener espacios y no tiene que tener más de 26 caracteres. Ver detalles adicionales en la descripción del fichero `.IFL` más adelante.

Continued on next page

Table 9.3 – continued from previous page

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
DUMMY	I	-	-	Siempre igual a 2.
ELINITWSE(IE)	R	-	m ó ft	Nivel de agua inicial para el elemento/celda EL. Usado en RiverFlow2D Plus y RiverFlow2D Plus GPU.
ELMINERODELEV (IE)	R	≥ 0	-	Elevación mínima para la erosión permitida en cada celda. Usado en RiverFlow2D Plus y RiverFlow2D Plus GPU.
ELZB (IE)	R	-	m ó ft	Elevación inicial del fondo para el elemento/celda EL. Usado en RiverFlow2D Plus y RiverFlow2D Plus 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.
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 Ficheros de datos de condiciones de contorno abiertas: .IFL y .OBCP

Estos ficheros contienen los datos de condiciones de contorno usadas solamente de forma interna por el modelo. Ambos ficheros son generados automáticamente por RiverFlow2D. El formato del fichero .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 fichero .IFL

```
1165
365     1     WSE97out.txt
```

367 1 WSE97out.txt
431 1 WSE97out.txt
...

Este fichero `.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 fichero `WSE97out.txt`.

El formato del fichero .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 fichero .OBCP

2
12
UNIF1.DATP
24
2916
...
3299

6
INFLOW1.QVT
17
2
1
...
25
26

Este fichero `.OBCP` tiene dos contornos abiertos. El primer contorno abierto es de tipo BCTYPE=12, lo quwe corresponde a flujo uniforme de salida. La tabla de flujo uniforme WSE vs. caudal se incluye en el fichero `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.

Table 9.4 – Descripción de las variables para los ficheros .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 fichero 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.
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.

Table 9.5 – Tipos de condición de contorno.

BCTYPE	DESCRIPCIÓN
0	Contorno cerrado impermeable. Se imponen una condición de contorno de tipo *slip* (no hay flujo normal). Ver comentario 5.
1	Se impone el nivel de agua (WSE). Se debe proorcionar un fichero asociado a la condición de contorno. Ver comentarios 2 y 4.
2	Este código solamente es aplicable en RiverFlow2D FE. Impone la componente U de la velocidad. Se debe proporcionar un fichero asociado a la condición de contorno. Ver comentario 2.
3	Este código solamente es aplicable en RiverFlow2D FE. Impone la componente V de la velocidad. Se debe proporcionar un fichero asociado a la condición de contorno. Ver comentario 2.
4	Este código solamente es aplicable en RiverFlow2D FE. Impone las componentes U y V de la velocidad. Se debe proporcionar un fichero de condición de contorno de dos variables. Ver comentario 3.
5	Impone el caudal y el nivel de agua. Se debe proporcionar un fichero de condición de contorno de dos variables. Ver comentario 3.
6	Se impone el caudal. Se debe proporcionar un fichero asociado a la condición de contorno. Ver comentario 2.
7	Este código solamente es aplicable en RiverFlow2D FE. Impone la componente U de la velocidad y el nivel de agua. Se debe proporcionar un fichero de condición de contorno de dos variables. Ver comentario 3.
8	Este código solamente es aplicable en RiverFlow2D FE. Impone la componente V de la velocidad y el nivel de agua. Se debe proporcionar un fichero de condición de contorno de dos variables. Ver comentario 3.
9	Impone una tabla de distribución monovaluada de calado-caudal. Se debe proporcionar un fichero asociado a la condición de contorno. Ver comentario 6.
10	Condición de entrada o salida "Libre". Las velocidades y los niveles de agua son calculadas por el modelo. Ver comentario 7.
11	COndición de salida "Libre". Las velocidades y los niveles de agua son calculadas por el modelo. Solamente se perfite flujo de salida. Ver comentario 7.
12	Condición de flujo uniforme de salida. Ver comentario 10.
13-18	Para uso futuro.
19	Impone una tabla de distribución monovaluada de calado-caudal a lo largo de una polilínea interna. Se debe proporcionar un fichero asociado a la condición de contorno. Ver comentario 8.
20-25	Para uso futuro.

Continued on next page

Table 9.5 – continued from previous page

BCTYPE	DESCRIPCIÓN
26	Impone series temporales de audal de agua y de caudal de seidmentos. Se debe proporcionar un fichero asociado a la condición de contorno. Ver comentario 9.
61	Este código solamente es aplicable en RiverFlow2D FE. Impone el caudal de agua creando fuentes en todos los elementos de entrada. water discharge creating sources on all inflow elements. Se debe proporcionar un fichero asociado a la condición de contorno. Ver comentario 11.

9.2.2.3 Comentarios para los ficheros .IFL y .OBCP

1. RiverFlow2D 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 RiverFlow2D. 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.

Table 9.6 – Condiciones de contorno para régimen de flujo supercrítico.

RÉGIMEN DE FLUJO EN EL CONTORNO	CONDICIÓN DE CONTORNO DE ENTRADA	CONDICIÓN DE CONTORNO DE SALIDA
Subcrítico	Q o Velocidad	Nivel de agua (WSE)
Supercrítico	Q y WSE	"Libre"

NOTA: Es recomendable tener al menos una condición donde el nivel de agua o la relación calado-caudal 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 fichero ASCII con la serie temporal para la variable correspondiente. Ver la sección Ficheros de datos de condiciones de contorno para los detalles sobre el formato del fichero para condiciones de contorno de una variable.

3. Cuando se imponen dos variables (nivel de agua y caudal, etc.), se requiere proporcionar un fichero ASCII con las series temporales para las variables. Ver la sección Ficheros de datos de condiciones de contorno para los detalles sobre el formato del fichero 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 RiverFlow2D puede simular con esa condición, puede dar lugar a errores de conservación.

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 calado-caudal (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 distribución 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 fichero ASCII con la tabla de valores de entrada (ver la sección Ficheros de datos de condiciones de contorno para los detalles sobre el formato de fichero). En genera, es preferible usar un hidrograma de calado en lugar de una condición calado-caudal. En la mayoría de los ríos con pendiente pequeña, la relación calado-caudal se ve afectada por la histéresis. En otras palabras, la curva calado-caudal es looped 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 calado 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 calados para el mismo caudal. Si la relación calado-caudal no está bien definida o si se ha calculado asumiendo 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 calado-caudal, preferiblemente medida sobre un extenso rango de caudales. Cuando esta relación no está disponible, una opción podría ser la de asumir 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 area 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.

NOTA: las relaciones calado-caudal de tipo *loop* no están implementadas en esta versión de RiverFlow2D.

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 calados en estos nodos. En la práctica, esto es equivalente a asumir 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 calado-caudal.

8. Cuando se usa una condición de tabla calado-caudal 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 distribución, imponiendo ese valor para el siguiente paso de tiempo para todos los nodos en el contorno interno. Esta condición requiere proporcionar un fichero ASCII con la tabla de valores. Ver la sección *Ficheros de datos de las condiciones de contorno* para los detalles del formato de fichero.

9. Cuando se impone un caudal de agua y de sedimento, se requiere proporcionar un fichero 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 *Ficheros de datos de las condiciones de contorno* para los detalles sobre el formato de los ficheros de condiciones de contorno de múltiples variables.

10. El usuario tiene que proporcionar un fichero con la pendiente de energía S_0 para el contorno correspondiente. Este fichero 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 distribución (rating table) mediante la cuál se impondrá el nivel de agua como una función del caudal de salida calculado. La tabla de distribución 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 linea 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 Ne elementos de entrada y el caudal impuesto es Qin, cada elemento recibirá un caudal igual a Qin/Ne. EL volumen de agua fuirá naturalmente más allá de la entrada dependiento 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 fichero ASCII con la serie temporal de caudal. Ver la sección *Ficheros de datos de las condiciones de contorno* para los detalles sobre el formato de los ficheros de condiciones de contorno de una variable.

9.2.3 Fichero de datos del contorno de la malla: .TBA

El fichero `.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 fichero es generado automáticamente por RiverFlow2D**.

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 fichero .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.

Table 9.7 – Descripción de las variable para el fichero .DAT.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	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 fichero .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 fichero. 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

RiverFlow2D proporciona componentes para modelizar problemas hidráulicos específicos, incluyendo pilares de puentes, alcantarillas, tablas de distribución internas, vertederos, transporte de sedimentos y transporte de contaminantes. Esta sección explica los formatos de ficheros de datos usados en estas componentes.

9.3.1 Puentes

RiverFlow2D proporciona cuatro opciones para tener en cuentla 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, *overtoppíng*, 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 *Tabla de distribución interna (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 Ficheros de datos de puentes: .BRIDGES

Esta componente requiere el fichero de datos `.BRIDGES` que es generado automáticamente por el modelo basándose en la representación geométrica introducida en el GUI de SMS . El fichero `.BRIDGES` tiene el siguiente formato:

Línea 1: Número de puentes.
NUMBEROFBRIDGES

NUMBEROFBRIDGES líneas que contienen los datos para cada puente.

Id del puente.
BRIDGE_ID

Nombre del fichero de la geometría de las sección transversal del puente.
BRIDGE_GEOMETRY_FILE

Número de parejas de celdas a lo largo del alineamiento del puente.
NC

NUMBEROFCELLS líneas que contienen los números de las parejas de celdas a lo largo del alineamiento del puente.
CELL_A[1] CELL_B[1]
...
CELL_A[NC] CELL_B[NC]

9.3.2.1 Ejemplo de fichero .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
```

Table 9.8 – Descripción de las variable para el fichero .BRIDGES.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
BRIDGE_GEOMETRY_FILE	S	< 26	-	Contiene la geometría de la sección transversal del puente, como se explica a continuación.
BRIDGE_ID	S	< 26	-	ID del puente.
CELL_A[i] CELL_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.
NUMBEROFBRIDGES	I	> 0	-	Número de puentes.

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

9.3.3 Fichero de datos de la geometría de la sección transversal del puente

El fichero 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)≤STATION(I+1).
- BEDELEV≤ZLOWER≤LOWCHORD≤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 fichero de datos de la geometría de la sección transversal

La siguiente tabla es un ejemplo de uno de los ficheros de geometría que representa esquemáticamente el puente 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

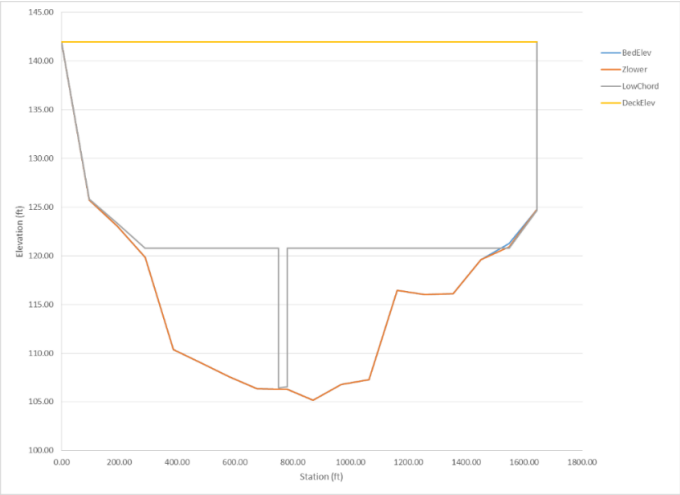


Figure 9.2 – Vista frontal de la sección transversal del puente.

Table 9.9 – Descripción de las variable Descriptions para el fichero de la geometría de la sección transversal del puente.

VARIABLE	TIP	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
BEDELEV	R	-	m or ft	Elevación del fondo. Tiene que ser la elevación menor para todos las polilíneas en un punto dado.
DECKELEV	R	-	m or ft	Elevación del tablero del puente (bridge deck). 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 or ft	Distancia desde el punto más a la izquierda de los que definen la polilínea de sección transversal. Todas las polilíneas tienen que tenen una estación en común.
ZLOWER	R	-	m or 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 idéntido a BEDELEV.
LOWCHORD	R	-	m or 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 DECELEV es un área bloqueada para el flujo.

Note: R = Variable real. I = Variable entera.

9.3.4 Ficheros de fuerzas de rozamiento de los pilares del puente: .PIERS

Esta opción requiere el fichero de datos `.PIERS` que es generado automáticamente por el modelo basándose en la representación geométrica introducida en el GUI de SMS . El fichero de datos `.PIERS` tiene el siguiente formato:

Línea 1: Numero de pilares.
NUMBEROFPIERS

NUMBEROFPIERS líneas que contienen los datos para cada pilar.
X Y ANGLEX LENGTH WIDTH CD PIERID

9.3.4.1 Ejemplo de fichero .PIERS

124

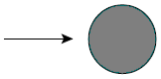
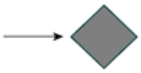
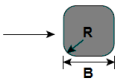
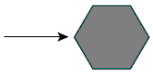
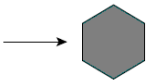
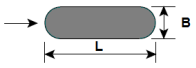
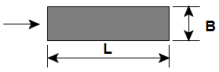
2042658.82	14214769.48	47.33	19.00	4.00	0.64	P1
2042690.52	14214739.87	46.66	19.00	4.00	0.64	P2
2042786.89	14214649.58	44.88	19.00	4.00	0.64	P3
2042818.95	14214619.53	45.17	19.00	4.00	0.64	P4
2042851.05	14214589.46	45.72	19.00	4.00	0.64	P6
2042883.13	14214559.39	45.10	19.00	4.00	0.64	P7
2042915.40	14214529.15	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

Table 9.10 – Descripción de las variable para el fichero .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	$0.5 - 2.5$	-	Coeficiente adimensional de rozamiento del pilar. Ver comentario 2 y **Error! Reference source not found** y esto???.
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.

Table 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: 0 → C_D: 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: 1 → C_D: 1.0; 2 → 0.7; 4 → 0.68; 6 → 0.64
Sección de nariz cuadrada		L/B: 1 → C_D: 2.2; 2 → 1.8; 4 → 1.3; 6 → 0.9

9.3.4.2 Comentarios para el fichero .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:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho U^2 A_P \tag{9.2}$$

donde C_D es el coeficiente de arrastre del pilar, ρ 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, RiverFlow2D 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:

$$\tau_{px} = \frac{1}{2} C_D \rho U \sqrt{U^2 + V^2} \left(\frac{A_P}{A_e} \right) \tag{9.3}$$

$$\tau_{py} = \frac{1}{2} C_D \rho V \sqrt{U^2 + V^2} \left(\frac{A_P}{A_e} \right) \tag{9.4}$$

donde A_e es el área del elemento.

9.3.5 Fichero 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 distribución (rating table) de la estructura hidráulica proporcionada por el usuario. El modelo determinará la dirección del flujo basándose ne 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 fichero .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

Table 9.12 – Descripción de variables par ael fichero .CULVERTS.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
CulvertFile	S	< 26	-	Nombre del fichero con la tabla de distribución para la alcantarilla o fichero característico de la misma. Ver la siguiente sección para los detalles sobre el fichero característico de las alcantarillas. No debe contener espacios y tiene que tener menos de 26 caracteres.

Continued on next page

Table 9.12 – continued from previous page

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
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.
X1 Y1 X2 Y2	R	-	m or 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 Ficheros de datos con la tabla de distribución calado-caudal para las alcantarillas con CulvertType=0

Este formato se aplica a las tablas de distribución calado vs. caudal en la alcantarilla.

Línea 1: Número de puntos en la serie de datos
NDATA

NDATA líneas que contienen calado y caudal.
DEPTH(I) Q(I)

donde DEPTH(I) es el calado correspondiente al caudal Q(I).

INVERT_Z1
INVERT_Z2

donde INVERT_Z1 y INVERT_Z2 son las invert elevations para entrada y la salida, respectivamente.

9.3.5.3 Ejemplo de fichero con la tabla de distribución calado-caudal de la alcantarilla

El siguiente ejemplo muestra una tabla de distribución calado-caudal para una alcantarilla. NDATA es 7 y hay 7 líneas con parejas de calado 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
```

Table 9.13 – Descripciones de las variables de los ficheros de datos de calado-caudal de la alcantarilla.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NDATA	I	> 0	-	Número de líneas en el fichero de datos.
INVERT_Z1	R	> 0	m or ft	Invert elevation 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 or ft	Invert elevation 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 or ft	Calado de agua.
Q	R	> 0	m^3/s or ft^3/s	Caudal de agua.

Nota: I = Variable entera. R = Variable real.

9.3.5.4 Ficheros 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 fichero 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 fichero de datos característicos de la alcantarilla de este ejemplo indica que la alcantarilla tiene un barrel (Nb =1), Ke=0.4, nc=0.012, Kp=1, cp =1, M =1.1, Y=0.6, m=-0.5, y Dc=0.10, INVERT_Z1=5.0 y INVERT_Z2 = 1.0.

Table 9.14 – Descripciones de las variables para el fichero característico de la alcantarilla.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
Nb	I	-	-	Número de barrels idénticos. El caudal calculado para una alcantarilla alcantarilla o barrel?? es multiplicado por Nb para obtener el caudal total de la alcantarilla.
Ke	R	0-1	-	Coeficiente de pérdidas de entrada dado por la Tabla 9.16.
nc	R	0.01-0.1	-	Coeficiente n de Manning de la alcantarilla dado por la Tabla 9.15.
K'	R	0.1-2.0	-	Coeficiente de control de la entrada dado por la Tabla 9.17.
M	R	0.6-2.0	-	Coeficiente de control de la entrada dado por la Tabla 9.17.
c'	R	0.6-2.0	-	Coeficiente de control de la entrada dado por la Tabla 9.17.
Y	R	0.5-1.0	-	Coeficiente de control de la entrada dado por la Tabla 9.17.
m	R	0.7,-0.5	-	Coeficiente de forma de la entrada. m=0.7 para entradas en bisel, m=-0.5 para el resto de entradas.
Hb	R	> 0	m or ft	Altura del Barrel para alcantarillas tipo caja. Solamente para CulvertType = 1.
Base	R	> 0	m or ft	Anchura del Barrel para alcantarillas tipo caja. Solamente para CulvertType = 1.
Dc	R	> 0	m or ft	Diámetro para alcantarillas circulares. Solamente para CulvertType = 2.
INVERT_Z1	R	> 0	m or ft	Elevación invert 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 or ft	Elevación invert 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.

Table 9.15 – Coeficientes de rugosidad n de Manning para varios materiales de alcantarilla. Adaptado de Froehlich (2003).

Material del barrel de la alcantarilla	**Descripción de la entrada**	**n de Manning, n_c**
	Buenas uniones, paredes pulidas	0.012
Hormigón		Continued on next page

Table 9.15 – continued from previous page

Material del barrel de la alcantarilla	**Descripción de la entrada**	***n* de Manning, n_c**
	Projecting from fill, 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

Table 9.16 – Coeficientes de pérdidas a la entrada coefficients K_e. Adaptado de Froehlich (2003).

Tipo de alcantarilla	**Descripción de la entrada***	**Coeficiente de pérdidas a la entrada K_e**
Tubería de hormigón	Projecting from fill, final acanalado	0.2
	Projecting from fill, final de corte cuadrado	0.5
	Headwall or headwall with Wingwalls (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 redondeado	0.7
	Final biselado que enrasa con la pendiente del terraplén	
	Sin grate	0.5
	Con grate	0.7
Tubería de metal corrugado	Projecting from embankment (no headwall)	0.9
	Headwall con o sin Wingwalls (hormigón o sacos de cemento))	0.5
o *pipe-arch*	Final biseladop 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 grate	0.5
	Con grate	0.7
Caja de hormigón armado	Headwall paralela al terraplén (no Wingwalls)	
	Borde cuadrado en tres lados	0.5
	Redondeado en tres lados al radio de 1/12 la dimensión del barrel	0.2
	Wingwalls en 30° hasta 75° to barrel	
	Borde cuadrado en la corona	0.4
	Borde de la corona redondeado al radio de 1/12 la dimensión del barrel	0.2
	Wingwalls en 10° hasta 30° to barrel	
	Square-edged at crown	0.5
	Wingwalls paralelas al terraplén to embankment	
	Borde cuadrado en la corona	0.7

Ver Table 9.18 para las configuraciones de la entrada.

Table 9.17 – Coeficientes de la fórmula de control de entrada. Adaptado de Froehlich (2003).

Material del barrel	Forma del barrel	Descripción de la entrada*	K'	M	c'	Y
Hormigón	Circular	Headwall; borde cuadrado	0.3153	2.0000	1.2804	0.6700
Hormigón	Circular	Headwall; borde acanalado	0.2509	2.0000	0.9394	0.7400
Hormigón	Circular	Projecting; borde acanalado	0.1448	2.0000	1.0198	0.6900
Metal cor.	Circular	Headwall	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	Projecting	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	Wingwalls; 30° hasta 75° flares; borde cuadrado	0.1475	1.0000	1.2385	0.8100
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; 90° y 15° flares; borde cuadrado	0.2242	0.7500	1.2868	0.8000
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; 0° flares; Borde cuadra	0.2242	0.7500	1.3608	0.8200
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; 45° flare; Borde acanalado	1.6230	0.6670	0.9941	0.8000
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; 18° to 33.7° flare; Borde acanalado	1.5466	0.6670	0.8010	0.8300
Hormigón	Rectangular	Headwall; biseles de 3/4 pulgadas	1.6389	0.6670	1.2064	0.7900
Hormigón	Rectangular	Headwall; 45° biseles	1.5752	0.6670	1.0101	0.8200
Hormigón	Rectangular	Headwall; 33.7° biseles	1.5466	0.6670	0.8107	0.8650
Hormigón	Rectangular	Headwall; 45° skew; 3/4 en biseles	1.6611	0.6670	1.2932	0.7300
Hormigón	Rectangular	Headwall; 30° skew; 3/4 en biseles	1.6961	0.6670	1.3672	0.7050
Hormigón	Rectangular	Headwall; 15° skew; 3/4 en biseles	1.7343	0.6670	1.4493	0.6800
Hormigón	Rectangular	Headwall;10-45° skew; 45° bevels	1.5848	0.6670	1.0520	0.7500
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; non-offset 45°/flares	1.5816	0.6670	1.0906	0.8030
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; non-offset 18.4°/flares; 3/4 en los biseles	1.5689	0.6670	1.1613	0.8060
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; non-offset 18.4°/flares; 30°/skewed barrel	1.5752 0.6670	1.2418	0.7100	
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; offset 45°/flares; borde superior biselado	1.5816	0.6670	0.9715	0.8350
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; offset 33.7°/flares; borde superior biselado	1.5752	0.6670	0.8107	0.8810
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; offset 18.4°/flares; bisel del borde superior	1.5689	0.6670	0.7303	0.8870
Metal cor.	Rectangular	Headwall	0.2670	2.0000	1.2192	0.6900
Metal cor.	Rectangular	Projecting; muro grueso	0.3023	1.7500	1.3479	0.6400
Metal cor.	Rectangular	Projecting; muro fino	0.4593	1.5000	1.5956	0.5700

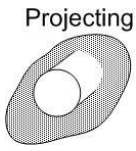
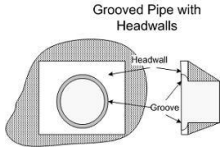
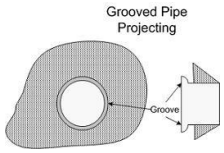
Continued on next page

Table 9.17 – continued from previous page

Material del barrel	Forma del barrel	Descripción de la entrada*	K'	M	c'	Y
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	Headwall; borde cuadrado	0.3153	2.0000	1.2804	0.6700
Hormigón	Circular	Headwall; borde acanalado	0.2509	2.0000	0.9394	0.7400
Hormigón	Circular	Projecting; borde acanalado	0.1448	2.0000	1.0198	0.6900
Metal cor.	Circular	Headwall	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	Projecting	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	Wingwalls; 30° to75° flares; borde cuadrado	0.1475	1.0000	1.2385	0.8100
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; 90° and 15° flares; borde cuadrado	0.2242	0.7500	1.2868	0.8000
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; 0° flares; borde cuadrado	0.2242	0.7500	1.3608	0.8200
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; 45° flare; borde biselado	1.6230	0.6670	0.9941	0.8000
Hormigón	Rectangular	Wingwalls; 18° to 33.7° flare; borde biselado	1.5466	0.6670	0.8010	0.8300
Hormigón	Rectangular	Headwall; biseles de 3/4 pulgadas	1.6389	0.6670	1.2064	0.7900
Hormigón	Rectangular	Headwall; 45° biseles	1.5752	0.6670	1.0101	0.8200

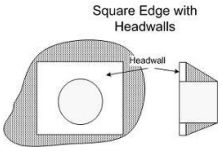
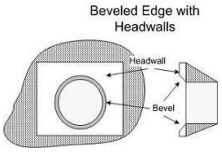
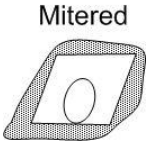
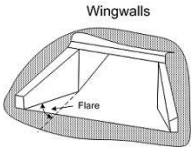
Ver Tabla 9.18 para las configuraciones de entrada.

Table 9.18 – Configuraciones de la entrada de la alcantarilla (adaptado de `www.xmswiki.com/xms/`).

Configuración de la entrada	Descripción
	El final del barrel se proyecta fuera del terraplén.
	Tubería acanalada para alcantarillas de hormigón disminuyen las pérdidas de energía a través de la entrada.
	Esta opción es para alcantarillas de tuberías de hormigón.

Continued on next page

Table 9.18 – continued from previous page

Configuración de la entrada	Descripción
	Borde cuadrado con Headwall es una condición de entrada donde la entrada de la alcantarilla está enrasada con la headwall.
	'borde biselados' es un borde de entrada cónico que disminuye las pérdidas a medida que el flujo entra en el barrel de la alcantarilla.
	Una entrada ingleteada es cuando el barrel de la alcantarilla se corta de forma que enrase con la pendiente del terraplén.
	Las Wingwalls son usadas cuando la alcantarilla es más corta que el terraplén y previenen la entrada de material del terraplén en la alcantarilla.

9.3.5.6 Comentarios para los ficheros .CULVERTS y de características de las alcantarillas

1. Para CulvertType 0, el caudal de la alcantarilla se calcula usando una tabla de distribución dada en el fichero *culverFile*.
2. Para CulvertType 1 y 2, el modeo calculará el caudal de la alcantarilla para el control de entrada ya salida usando los procedimientos FHWA (Norman et al.,1985) que fueropn replanteados porsteriormente en forma adimensional por Froehlich (2003). Ver la guía de usuario para más detalles.

9.3.6 Ficheros de datos de las compuertas: .GATES

esta componente requiere el fichero de datos `.GATES` que es automáticamente generado por el modelo en la representación geométrica introducida en el GUI de SMS . El ficheo `.GATES` tiene el siguiente formato:

Línea 1: Número de compuertas.
NUMBEROFGATES

NUMBEROFGATES 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

NUMBEROFCELLS líneas que contienen la numeración de las parejas de celdas a lo largo del alineamiento de la compuerta

CELL_A[1] CELL B[1]
...
CELL_A[NC] CELL B[NC]

9.3.6.1 Ejemplo de fichero .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
```

Table 9.19 – Descripción de las variable para el fichero .GATES.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
CD	R	> 0	-	Coeficiente de descarga de la compuerta.

Continued on next page

Table 9.19 – continued from previous page

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
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 lña compuerta.
GATE_ID	S	< 26	-	ID de la compuerta.
CELL_A[i] CELL B[i]	I	-	-	Números de celda de las parejas de celdas a lo largo del alineamiento de la compuerta.
NC	I	> 0	-	Name of pier???????. No debe contener espacios y tiene que tener menos de 26 caracteres.
NUMBEROFGATES	I	> 0	-	Number of cells along the gate alignment.???????

Nota: I = Variable entera. R = Variable real, S = Variable text.

9.3.7 Fichero 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.
TIME APERTURE

9.3.7.1 Ejemplo de fichero de datos de apertura de compuerta

3
0 0.0
2 0.5
4 1.0

Table 9.20 – Descripciones de las variable Descriptionss para el fichero .GATES.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NPOINTS	I	> 1	-	Número de puntos de datos en la serie temporal de la apertura de compuerta.
TIME	R	> 0	$Hrs.$	Tiempo.
H(I)	R	-	$m\text{-}ft$	Apertura de la compuerta para el tiempo conrrespondiente.

Nota: I = Variable integral. R = Variable real.

9.3.8 Fichero de datos de la tabla de distribución interna (Internal Rating Table): .IRT

Este fichero de datos permite modelizar 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 calado o nivel?? 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 distribución interna, las velocidades calculadas no tienen que ser necesariamente perpendiculares a la polilínea de la IRT. La estructura del fichero 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 fichero de la tabla de distribución, 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 fichero .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_A.DAT
799482.440    309453.678
799135.525    309118.164
798914.020    309269.634
798787.701    309467.583
```

Este fichero tiene 2 polilíneas IRT, el ID de la primera es IRT_A, la cuál tiene 4 vértices, BCTYPE 19 y un nombre de fichero IRT_A.DAT.

Table 9.21 – Descripciones de las variables para el fichero .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 condició 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 or ft	Coordenadas de los vértices que definen cada polilínea IRT. Ver comentario 1.
IRT_FILENAME	S	< 26	-	Nombre del fichero que contiene la IRT en el formato descrito como un fichero de datos de calado-caudal (stage-discharge). 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 fichero .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 Fichero de datos de flujo de lodo y escombros: .MUD

Este fichero solamente se aplica al modelo RiverFlow2D Plus. Este fichero proporciona los parámetros necesarios para modelizar el flujo de lodo y escombros usando el modelo RiverFlow2D Plus.

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 fichero .MUD

1
300.
0.00899
3.5
2200.

Table 9.22 – Descripción de las variables para el fichero .MUD.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
MF_BVIS	I	> 0	Poise ó lb/in^2	Viscosidad de Bingham.
MF_DENS	R	> 0	kg/m^3 ó lb/ft^3	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^2 or lb/in^2	Esfuerzo de fluencia (Yield stress).

NotA: I = Variable entera. R = Variable real.

9.3.9.2 Comentarios para el fichero .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 τ_t, esfuerzo dispersivo τ_d, esfuerzo de fricción de tipo Coulomb τ_f, esfuerzo de fluencia τ_y y esfuerzo viscoso τ_μ. 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 asumido. En esta tabla, también se incluyen los parámetros de entrada que son requeridos para su cálculo.

Table 9.23 – Relación de resistencia al flujo.

MF_FFR	Relación de resistencia al flujo	Término de resistencia al flujo	Parámetros de entrada
1	Turbulento (default)	$\tau_b = \tau_t$	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	Cuadŕatica	$\tau_b = \tau_t + \tau_y + \frac{\kappa}{8}\tau_\mu$	n de Manning, densidad, esfuerzo de fluencia, ángulo de fricción

Continued on next page

Table 9.23 – continued from previous page

MF_FFR	Relación de resistencia al flujo	Término de resistencia al flujo	Parámetros de entrada
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

This file only applies to the OilFlow2D Plus model. This file provides the parameters necessary to model flow of viscous fluids including oil over complex terrain using the OilFlow2D model.

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: Fichero de series de datos de temperatura.
OL_TEMPTSERIES

Line 7: Fichero con la tabla Temperatura - Viscosidad - Densidad.
OL_TEMPVISCDENS

9.3.10.1 Ejemplo de fichero .OILP

```
3
1.
0.00899
1
2200.
Temptseries.txt
Tempviscdensetable.txt
```

Table 9.24 – Descripción de las variables para el fichero .OILP.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
OL_BVIS	I	> 0	$Pa \cdot s$ or $lb - s/in^2$	Viscosity del fluido que será usada si las líneas correspondientes al fichero con la tabla temperatura-viscosidad-densidad y el fichero de datos de temperatura no son proporcionadas.
OL_DENS	R	> 0	kg/m^3 or lb/ft^3	Densidad del fluido que será usada si las líneas correspondientes al fichero con la tabla temperatura-viscosidad-densidad y el fichero 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_TEMPTSERIES	S	≤ 26	-	Fichero con la serie temporal de temperatura.
OL_TEMPVISCDENS	S	≤ 26	-	Fichero 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 or 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 fichero de serie temporal de temperatura of the Temperature Time Series file

```
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 fichero 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 fichero de la tabla de temperatura-viscosidad-densidad. Para $50°F$ la viscosidad es 1.38E-06 $lb - s/in^2$ y la densidad 50 lb/ft^3.

9.3.11 Fichero 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 fichero 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 fichero .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
```

Table 9.25 – Explicación del fichero 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 active pollutants will be 1 through 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

Table 9.26 – Descripciones de las variables para el fichero .SOLUTES.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
DISPL	R	> 0	m^2/s ó ft^2/s	Coeficiente de dispersión longitudinal.
DISPT	R	> 0	m^2/s ó ft^2/s	Coeficiente de dispersión transversal.
K(I,J)	R	-	s^{-1}	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. Dede ser igual a NPOLLUTANTS_MAX

Nota: I = Variable entera. R = Variable real.

9.3.12 Fichero de datos de la concentración inicial del módulo de transporte de contaminantes: .CINITIAL

El fichero de datos de concentración inicial es generado cuando el conjunto de dato con las concentraciones iniciales es exportado desde SMS basándose en los datos introducidos como concentraciones iniciales.

Cada columna en este fichero se corresponde con cada uno de los contaminantes indicados en el correspondiente fichero `.SOLUTES`. Cada línea corresponde a las concentraciones iniciales para

cada celda. Por lo tanto, el fichero `.CINITIAL` tiene que tener NPOLLUTANTS_MAX columnas y NELEM líneas.

9.3.13 Fichero de datos del coeficiente *n* de Manning variable con el calado: .MANNN

Este fichero es generado por SMS basándose en los datos que el usuario introduce en la capa *ManningsNz*. Se utiliza para distribuir espacialmente el coeficiente n de Manning variable con el calado.

Línea 1: Número de zonas definidas por polígonos donde los coeficientes n de Manning variable con los calados son definidos.
NNZONES

NRZONES grupo de líneas que contienen los ficheros de datos del coeficiente n de Manning variable con el calado para cada zona **MANNNFILE**

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 fichero .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 fichero de datos del coeficiente n de Manning para el primer polígono es `Manning1.txt` y el polígono está definido por cuatro vértices.

Table 9.27 – Descripción de las variables para el fichero .MANNN.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NNZONE[i]	I	≥ 1	-	Número de vértices que definen la zona i.
NNZONES	I	-	-	Número de zonas.
MANNNFILE	S	≤ 26	-	Fichero de coeficiente n de Manning. Ver comentario 1.

Continued on next page

Table 9.27 – continued from previous page

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
X(i) Y(i)	R	> 0	m or 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 fichero .MANNN

1. La distribución espacial de coeficientes n de Manning variables con el calado 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 fichero por defecto de coeficientes n de Manning.

9.3.13.3 Fichero de datos de los coeficientes *n* de Manning variable con el calado

Línea 1: Número de puntos en el fichero de coeficientes n de Manning.
NPRE

ND líneas que contienen:

DEPTH MANNINGS N

9.3.13.4 Ejemplo de fichero de datos de los coeficientes *n* de Manning variable con el calado

```
3
0.    0.1
0.3   0.1
1.0   0.03
```

Table 9.28 – Descripciones de variables para el fichero de datos de los coeficientes n de Manning variable con el calado.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
DEPTH	R	≥ 0	m ó ft	Calado. Ver comentario 1.
MANNINGS N	R	≥ 0	-	Coeficiente n de Manning correspondiente a DEPTH. Ver comentario 1.
ND	I	-	-	Número de valores en el fichero.

NotA: I = Variable entera. R = Variable real.

9.3.13.5 Comentarios para el fichero de datos de los coeficientes *n* de Manning variable con el calado

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 el calado de la celda a partir de la tabla correspondiente al polígono. En el ejemplo de arriba, para todos los calados 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 proporcional un fichero *DefaultManningsn.dat* en la carpeta del proyeccto y el programa aplicará los datos contenidos en el mismo para el área complementaria a los polígonos proporcionados. Si el fichero *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 Fichero de datos de lluvia y evaporación: .LRAIN

El usuario debe emplear este fichero 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 modelizada.

Línea 1: Número de zonas definidas por polígonos donde las series temporales de lluvia son definidas.
NRZONES

NRZONES grupo de líneas que contienen el fichero 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 Ejenmplo de fichero .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 fichero de datos de lluvia y evaporación para le primer polígono es `hyeto1.txt` y el polígono está definido por cuatro vértices.

Table 9.29 – Descripciones de las variables para el fichero .LRAIN.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NPZONE[i]	I	≥ 1	-	Número de vértices que definen la zona i.
NRZONES	I	-	-	Número de zonas.
RAINEVFILE	S	≤ 26	-	Intensidad de lluvia. Ver comentario 1.
X(i) Y(i)	R	> 0	m or 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 fichero .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 Fichero 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, lluvia diaria, evaporación diaria diaria???.
TIME RAINFALL EVAPORATION

9.3.14.4 Ejemplo de fichero de datos de hietograma y evaporación

```
3
0.    0.0    1.0
24    4.0    2.0
48    12.0   3.0
```

Table 9.30 – Descripción de las variables para el fichero de datos del hietograma y la evaporación.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
EVAPORATION	R	≥ 0	mm/hr ó in/hr	Intensidad de evaporación. Ver comentario 1.
NPRE	I	-	-	Número de tiempos en la serie temporal de lluvia y evaporación.
RAINFALL	R	≥ 0	mm/hr ó in/hr	Intensidad de lluvia. Ver comentario 1.
TIME	R	> 0	horas	Intervalo de tiempo

NotA: I = Variable entera. R = Variable real.

9.3.14.5 Comentarios para el fichero 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 interpoladas entre cada intervalo de timepo. En el ejemplo de arriba, para todos los tiempos entre 0 y 24 horas, la lluvia será determinada por interpolación lineal entre 0 mm/hr y 4 mm/hr, y el mismo proceso se llevará a cabo para la evaporación.

2. Si el usuario tiene un fichero *DefaultRainEvap.dat* en la carpeta del proyecto, el programa aplicará los datos contenidos en ese fichero al área complementaria al los polígonos provistos.

9.3.15 Fichero de datos de la infiltración: .LINF

El usuario deberá usar este fichero 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:

Fichero 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 fichero .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 fichero de datos de infiltración para el primer polígono es `inf1.inf` y el polígono está definido por cuatro vértices.

Table 9.31 – Descripciones de las variables para el fichero .LINF.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NPZONE[i]	I	≥ 1	-	Número de vértices que definen la zona i.
NIZONES	I	-	-	Número de zonas. Ver comentarios 1 y 2.
INFILFILE	S	≤ 26	-	Fichero de parámetros de infiltración.
X(i) Y(i)	R	> 0	m or 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 fichero .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 fichero *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 Fichero 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 $\mathbf{f_c}$ $\mathbf{f_0}$**

Si INFILMODEL = 2: Método de Green-Ampt:
Line 3: **KH PSI DELTATHETA**

Si INFILMODEL = 3: Método SCS-CN:
Line 3: **CN POTRETCONST FUTUREUSE FUTUREUSE**

9.3.15.4 Ejemplo de fichero 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 seleccinado 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.

Table 9.32 – Descripción de las variables para el fichero 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 covertura del suelo. Los valores típico varian 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]	$1/s$	Coeficiente de decaímiento usado en el métod de Horton. Por defecto = 1.
Kh	I	≥ 0	m/s or ft/s	Conductividad hidráulica usada en el método de Green y Ampt. Por defecto = 0.00001.
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 or in	Altura de succión en el frente húmedo. Por defecto = 0.05.

Nota: I = Variable entera. R = Variable real.

9.3.16 Ficheros de datos de transporte de sedimentos de RiverFlow2D Plus: .SEDS y .SEDB

Estos ficheros proporcionan los parámetros necesarios para modelizar el transporte de sedimentos usando el modelo RiverFlow2D Plus.

9.3.16.1 Fichero .SEDS para los datos de sedimento en suspensión

El fichero `.SEDS` proporcioan los datos para el modelo de transporte de sedimento en suspensión.

Línea 1: Initerruptor 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 crítido 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 equilibrío para cada fracción.
SSTFACT(1) ... SSTFACT(NSSNFRAC)

Línea 13: Fórmula de velocidad de asentamiento
ISETFOR

Línea 14: Factor de la fórmula de velocidad de asentamiento.
SETFORFACT

9.3.16.2 Ejemplo de fichero .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

Table 9.33 – Descripción de las variables para el fichero .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.
ISSTF	I	1,2	-	Fórmula de concentración de equilibrio. Este código indica la fórmula de acuerdo a la lista: 1. Bagnold (1966) 2. Van Rijn (1984a)
DUMMY1	R	> 0	-	No usado en este versión, pero tiene que estar presente.
D50	R	> 0	mm or 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 1. Rubey (1983) 2. Zhang (1961) 3. Zanke (1977) 4. Van Rijn (1984a) 5. Raudkivi (1990) 6. Julien (1998) 7. Cheng (1997) 8. Jimenez-Madsen (2003) 9. Wu-Wong (2006)
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^3 ó lb/ft^3	Densidad del sedimento en suspensión. Ver comentario 1.

Continued on next page

Table 9.33 – continued from previous page

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
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 fichero .SEDS

1. Debe haber un valor para cada fracción de sedimento hasta NSSNFRAC.

9.3.16.4 Fichero .SEDB para los datos de transporte de sedimento de fondo

El fichero `.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 fichero .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
```

Table 9.34 – Descripciones de las variables para le fichero .SEDS.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	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 or 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 or in	Tamaño mediano de sedimento. El 50% del sedimento es más fino que D50. Ver comentario 2.
D90	R	> 0	m or 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.

Continued on next page

Table 9.34 – continued from previous page

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
FRICANG	R	5-45	-	Ángulo de fricción. Ver comentario 1.
BEDFRACT	R	-	-	Fracción de sedimento. La suma de todas las fracciones debe ser 1. Ver comentario 1.
BLDEN	R	-	kg/m^3 or lb/ft^3	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 fichero .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 por defecto default critical Shields stress is 0.047.

9.3.17 Fichero de datos de fuentes y sumideros: .SOURCES

El usuario debe emplear este fichero para introducir datos para simular entradas o salidas de flujo en cualquier localización. Esta característica se utiliza habitualmente cuando se modelizan 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 fichero 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)
...

9.3.17.1 Ejemplo de fichero .SOURCES

2
IntakeA
Intake.txt
799019.633 309402.572
DischargeIn
Discharge.txt
799222.740 309048.493

Este fichero 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 fichero: `Intake.txt`.

Table 9.35 – Descripción de las variables para el fichero .SOURCES.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NSOURCES	I	> 0	-	Número de puntos fuente o sumidero.
ISFILENAME	S	-	-	Nombre del fichero 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 or ft	Coordenadas de la fuente/sumidero.

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

9.3.17.2 Comentarios del fichero .SOURCES

1. El nombre del fichero es arbitrario pero no puede contener espacios en blanco. El formato de fichero es el mismo que el de los ficheros de *condición de contorno de una variable* descritos en la sección 9.6.1.

2. Para modelas entradas se usan valores positivos de caudal y para modelas salidas valores negativos.

9.3.18 Ficheros de datos de vertederos: .WEIRS

Este fichero 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)

9.3.18.1 Ejemplo de fichero .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 fichero 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.

Table 9.36 – Descripciones de las variables para el fichero .WEIRS.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
CF	R	> 0	-	Coeficiente 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 contenter espacios en blanco.
WRCRESTELEVR		-	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.

9.3.18.2 Comentarios para los ficheros .WEIRS

1. El caudal del vertedero se calcula entre parejas de nodos a lo largo de la polilínea basándose en las siguiente fórmula:

$$Q = C_f L H^{3/2} \tag{9.5}$$

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 ≥ 90), ya que dichos ángulos pueden crear errors en el algoritmo que identifica los nodos que recaen sobre la polilínea.

9.3.19 Fochero de datos de viento: .WIND

El usuario deberá emplear este fichero para introducir los datos de velocidad del viento espacialmente distribuida y variable en el tiempo. El modelo asume 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 containing hyetograph and evaporation data file for each zone???.
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])

9.3.19.1 Ejemplo de fichero .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 viento viento o aire??? es 1.225 kg/m^3. El fichero de velocidad del viento para el primer polígono es `wind1.txt` y el polígono está definido por 4 vértices.

Table 9.37 – Descripción de las variables para el fichero .WIND.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
AIRDENSITY	R	≥ 0	-	Densidad del aire. Siempre especificada en unidades métricas. Por defecto = 1.225.
CD	R	≥ 0	-	Coeficiente de esfuerzo del viento. Siempre especificado en unidades métricas. Por defecto = 0.009.
NPZONE[i]	I	≥ 1	-	Número de vértices que definen la zona i.
NWZONES	I	-	-	Número de zonas.
WINDFILE	S	≤ 26	-	Fichero de serie temporal del vector velocidad del viento. Ver comentario 1.
X(I) Y(I)	R	> 0	m or ft	Coordenadas de los vértices del polígono que define la zona i.

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

9.3.19.2 Comentarios para el fichero .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 fichero *DefaultWind.dat* en la carpeta del proyecto, el programa aplicará los datos contenidos en ese fichero al área complementaria a los polígonos proporcionados.

9.3.19.3 Fichero 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:

Timepo y velocidad del viento en las direcciones X e Y.
TIME UX UY

9.3.19.4 Ejemplo de fichero de datos de velocidad del viento

```
3
0.    0.0    0.0
24    4.0    -3.0
48    4.0    -3.0
```

Table 9.38 – Descripciones de las variables para el fichero 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.
TIME	R	> 0	Hrs	Tiempo.
UX(I) UY(I)	R	-	m/s or 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 Fichero de datos de puntos de observación: .OBS

Este fichero 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.
NOBSPOINTS

NOBSPOINTS 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 fichero .OBS

```
3
PointA
798798.380     309627.950
PointB
799146.926     309430.876
PointC
799721.8608     309041.615
```

Este fichero `.OBS` tiene 3 puntos. El primer punto se llama PointA y tiene coordenadas: X=798798.380 Y=309627.950.

Table 9.39 – Descripciones de las variable para el fichero .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.
NOBSPOINTS	I	> 0	-	Número de puntos de observación.
X_OP Y_OP	R	-	m or ft	Coordenadas del punto.

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

9.4.2 Fichero de datos de control de la salida gráfica: .PLT

Este fichero 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 IDXF 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: Limites de la variable representada.
MINVARG MAXVARG

Línea 5: Velocidad máxima a representar.
MAXVELOC

Línea 6: Transparency???.
USEBACKIMAGE

Línea 7: Transparencia.
TRANSP

Línea 8: Imagen aérea de fondo.
IMAGEFILE

Línea 9: Imagen aérea de fondo world file???.
IMAGEWF

9.4.2.1 Ejemplo de fichero .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
```

Table 9.40 – Descripción de las variables para el fichero .PLT

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
COLORSCHEME	I	1-6	-	Variable para seleccionar la opción de representación. Ver comentario 1.

Continued on next page

Table 9.40 – continued from previous page

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
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 ficheros de malla y velocidades DXF para cada tiempo de salida.
IGRAPHCODE	I	100, 101, 102, 103, 110, 201, 202, 203, 204, 600-610	-	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 los calados. 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 los calados. 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 suspended sediment or pollutant concentrations.
IGRAPHFILES	I	0,1	-	Variable para controlar si se generan ficheros de salida gráfica. 1. No generar ficheros de salida gráfica. 2. Generar ficheros de salida gráfica.
IMAGEFILE	S	-	-	Nombre del fichero 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	-	-	—Name of aerial image world file incluyendo la ruta y la extensión. El formato del fichero World file debe seguir las especificaciones ESRI. Ver comentario 2.

Continued on next page

Table 9.40 – continued from previous page

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
IVSF	I	0,1	-	Interruptor para controlar la salida del campo de velocidades en un fichero que permite la creación de *shapefiles*. 1. No generar los ficheros SF del campo de velocidades. 2. Generar los ficheros SF del campo de velocidades para cada tiempo de reporte. Ver comentario 3.
MAXVELOC	R	-	m/s ó ft/s	Usar esta variable para controlar la velocidad máxima mostrada en los gráficos de vectores. If MAXVELOC = 0, se representará el rango completo de velocidades. If MAXVELOC > 0, este parámetro definirá la velocidad máxima a representar.
MINVARG, MAXVARG	R	-	-	Estos parámetros definen los valores mínimos y máximos a representar de las variables seleccionadas. Si son iguales a 0, se representará el rango máximo.
SF_MULT	R	> 1	-	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.
TRANSP	R	[0,1]	-	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.
USEBACKIMAGE	I	[0,1]	-	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.
XMING, XMAXG, YMING, YMAXG	R	-	m ó ft	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 modelizada.

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

9.4.2.2 Comentarios para el fichero .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:

   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.

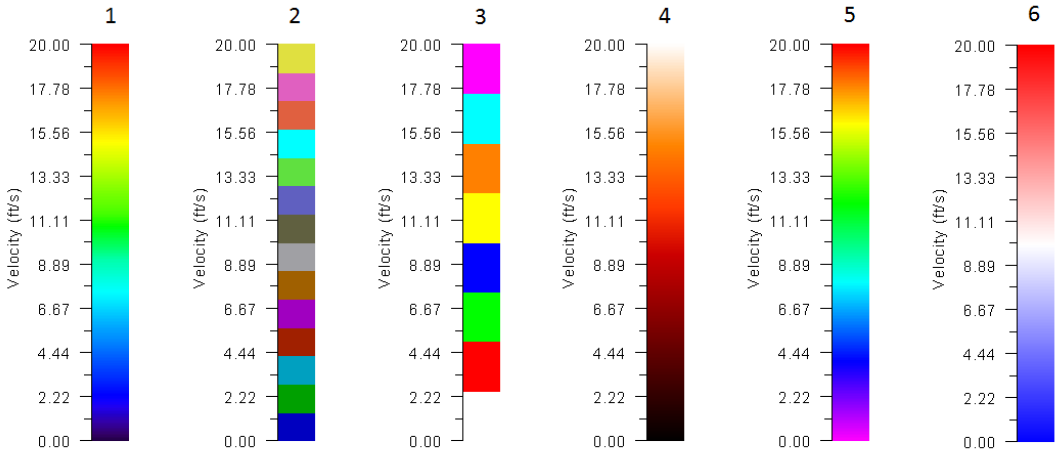


Figure 9.3 – Paletas de color.

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*.

Table 9.41 – 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

3. Los ficheros de texto de campo vectorial, calado y nivel de agua se usan para generar *shapefiles* de campos vectoriales. Usando la opción IVSF = 1, se permitirá al modelo generar ficheros de apoyo ESRI *shapefiles* para cada intervalo de reporte. Esta opción no se emplea en RiverFlow2D SMS..

9.4.3 Datos para la salida de resultados de perfiles: .PROFILES

El usuario deberá usar este fichero para proporcionar perfiles (polilíneas) a lo largo de los cuáles se generarán resultados.

Línea 1:Número de perfiles.
NPROFILES

NPROFILES grupo de files??? 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 fichero .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 fichero 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.

Table 9.42 – Descripciones de las variables para el fichero .PROFILES

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
ND_PR	I	> 2	-	Intervalos para dividir cada subsegmento 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 or 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 ficheros de salida de resultados: .XSECS

Las secciones transversales se utilizan para generar resultados numéricos el 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 fichero .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 fichero `.XSECS` indica qie hay 3 secciones transversales. La primera de ellas tiene un ID = CrossSectionA y será dividida en 40 segmentos.

Table 9.43 – Descripciones de las variables para el fichero .XSECS

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	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.
NPXSEC	I	2	-	Número de puntos que definen la seccion transversal. En la versión actual, solamente se pueden especificar los dos puntos extremos para definir una sección, por lo que este valor debería se 2 siempre.
X1_CS, Y1_CS, X2_CS, Y2_CS	R	-	m or 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 fichero .XSECS

1. El modelo cortará la malla usando la linea 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 ficheros contienen datos en un formato adecuado para su importación en la capa de datos de SMS , como por ejemplo la capa de datos *BedElevations*. Normalmente, tienen la extensión `.EXP`, pero pueden tener cualquier otra extensión de fichero 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)
NUMBER OF DATA POINTS NUMBER OF PARAMETERS

NUMBER OF DATA POINTS líneas con X, Y y datos de parámetros.
X(POINT) Y(POINT) P1(POINT) P2(POINT) ... PN(POINT)

9.5.1.1 Ejemplo de fichero .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 fichero de ejemplo `.EXP`, hay 11086 puntos de datos de elevación y un parámetro por punto (la elevación para cada punto).

Table 9.44 – Descripción de las variables para el fichero .EXP.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NUMBER OF DATA POINTS	I	> 0	-	Número de puntos de datos en el fichero.
NUMBER OF PARAMETERS	I	> 0	-	Número de parámetros para cada punto. En el caso del fichero de datos de elevación, este valor será igual a 1.
X	I	-	m or ft	Coordenada X de cada punto de elevación. Ver comentario 1..
Y	R	-	m or ft	Coordenada Y de cada punto de elevación. Ver comentario 1..
P	R	-	m or ft	Valor del parámetro. Ver comentarios 2.

Nota: I = Variable entera. R = Variable real.

9.5.1.2 Comentarios para el fichero .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. RiverFlow2D 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 SMS . Actualmente, RiverFlow2D no proporciona herramientas para realizar esta conversión.
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, ficheros ASCII delimitados por espacios o comas o ficheros ASCII Grid usandop el comando *PIE/Import.../Import Data* command.

9.6 Datos de condiciones de contorno

9.6.1 Ficheros de condición de contorno de una variable

Este formato se aplica a los siguientes ficheros 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 fichero 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.

Table 9.45 – Descripción de las variables de los ficheros de condiciones de contorno.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NDATA	I	> 0	-	Número de puntos en la serie de datos.
TIME	R	> 0	Hrs	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 Ficheros de condiciones de contorno de dos variables

Este formato se aplica a los siguientes ficheros 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 fichero de condiciones de contorno de dos variables

El siguiente ejemplo muestra un fichero 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.

Table 9.47 – Descripción de las variables de los ficheros de condiciones de contorno de dos variables.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NDATA	I	> 0	-	Número de puntos en la serie de datos.
TIME	R	> 0	Hrs	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 Ficheros de condiciones de contorno de múltiples variables

Este formato se aplica al siguiente fichero 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 fichero de condiciones de contorno de múltiples variables

El siguiente ejemplo muestra un fichero 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.

Table 9.49 – Descripciones de las variables de los ficheros de condiciones de contorno de múltiples variables.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NDATA	I	> 0	-	Número de puntos en la serie de datos.
TIME	R	> 0	Hrs	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 Ficheros 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 fichero 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 línaes con parejaswith pairs of stage and corresponding discharge:
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

Table 9.50 – Descripción de las variables de los ficheros de condiciones de contorno de dos variables.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NDATA	I	> 0	-	Número de líneas en el fichero de datos.
STAGE	R	> 0	m or ft	Nivel de agua.
Q	R	> 0	m^3/s or ft^3/s	Caudal de agua.

Nota: I = Variable entera. R = Variable real.

9.6.5 Ficheros de datos calado-caudal de la alcantarilla

Este formato se aplica a la tabla calado vs. caudal de la alcantarilla.

Línea 1: Número de puntos en la serie de datos.
NDATA

NDATA líneas que contienen el calado y el caudal.
DEPTH(I) Q(I)

donde DEPTH(I) es el calado correspondiente al caudal Q(I).

9.6.5.1 Ejemplo de fichero de calado-caudal de la alcantarilla

El siguiente ejemplo muestra una tabla de distribución (rating table) calado-caudal para una alcantarilla. NDATA es 7 y hay 7 líneas con parejas de calado 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

Table 9.51 – Descripción de las variablesde los ficheros de datos calado-caudal de las alcantarillas.

VARIABLE	TIPO	RANGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
NDATA	I	> 0	-	Número de líneas en el fichero de datos.
DEPTH	R	> 0	m or ft	Calado de agua.
Q	R	> 0	m^3/s or ft^3/s	Caudal de agua.

Nota: I = Variable entera. R = Variable real.

10 Referencia de ficheros de salida

RiverFlow2D genera resultados de salida en muchos ficheros ASCII de texto. Estos ficheros son fácilmente accesibles mediante cualquier editor de texto y pueden ser importados en SMS y otros programas GIS para visualización y análisis. RiverFlow2D también genera ficheros de salida ASCII en ambos sistemas de unidades (inglesas y métricas) dependiendo de las unidades provistas en los ficheros de datos.

10.1 Resumen de los ficheros de salida

La siguiente tabla resumen los archivos de salida generados por RiverFlow2D:

Table 10.1 – Lista de ficheros de datos de salida.

RESULTADOS	EXTENSIÓN DEL FICHERO DE DATOS	DESCRIPCIÓN
SALIDA GENERAL		
Parámetros de control de la simulación, componentes empleadas, etc.	`.OUTI`, `.OUTE`	Muestra los datos de entrada leídos desde los ficheros, 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 fichero `.OUTI` está en unidades métricas y el fichero `.OUTE` en unidades inglesas.
Información sobre la malla de elementos triangulares	`.MESHOUTI`, `.MESHOUTE`	Estos archivos proveen una imformación completa sobre la malla de elementos triangulares. El fichero `.MESHOUTI` está en unidades métricas y el fichero `.MESHOUTE` en unidades inglesas.

Continued on next page

Table 10.1 – continued from previous page

RESULTADOS	EXTENSIÓN DEL FICHERO DE DATOS	DESCRIPCIÓN
Resultados del progreso de la simulación	`.ROUT`	Este fichero 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 nodales, calados, niveles de agua y fondo, cambios en las elevaciones del fondo, condición de seco-mojado y número de Froude se escriben en el fichero `.UVHI` en unidades métricas y en el fichero `.UVHE` en unidades inglesas.
Resultados de valores máximos	`.MAXI`, `.MAXE`	Para cada intervalo de escritura, los valores máximos de los módulos de las velocidades nodales y calados se escriben en el fichero `.MAXI` en unidades métricas y al fichero `.MAXE` en unidades inglesas.
Serie temporal en puntos de observación	`.OUTI`, `.OUTE`	Estos ficheros reportan series temporales de resultados en puntos de observación. El modelo encuentra los nodos más próximos a las coordenadas provistas y los ficheros reportan series temporales de velocidades, calados, 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 fichero es: `RESvsT_NODENUMBER.OUTI` para unidades métricas y `RESvsT_NODENUMBER.OUTE` para unidades inglesas.
Balance de masa	`.MBAL`	Generado solamente en el modelo RiverFlow2D FE para reportar los caudales totales de entrada y salida y el cambio de volumen para cada intervalo de escritura.
Comienzo "'en caliente"' (Hot start)	`2binitialized.HOTSTART`	Generado en el modelo RiverFlow2D para reiniciar una simulación a partir de resultados calculados anteriormente. El fichero contiene el tiempo (en segundos) y el nombre del fichero correspondiente `stateN.out` desde el cuál el modelo reiniciará la simulación cuando se use esta opción.
Área de inundación	`.WETAREAS`	These files report the area of inundation (wet area) calculated as the sum of areas of all wet elements. See comment 1.
SALIDAS DE PERFILES Y SECCIONES TRANSVERSALES		
Salida de secciones transversales	`.XSECI`, `.XSECE`	Para todos los intervalos de escritura, estos ficheros proveen valores de elevación del fondo, calado, nivel de agua, velocidad promediada en la vertical, número de Froude y caudal de agua y sedimento. El fichero `.XSEC` está en unidades métricas y el fichero `.XSECE` en unidades inglesas.

Continued on next page

Table 10.1 – continued from previous page

RESULTADOS	EXTENSIÓN DEL FICHERO DE DATOS	DESCRIPCIÓN
Hidrogramas de sección transversal	`.XSECH`, `.XSECSED`	Reporta una tabla de hidrograma para cada sección transversal. El fichero `.XSECH` es el hidrograma de agua y el fichero `.XSECSED` 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, calados, niveles de agua, velocidades promediadas en la vertical y número de Froude. Estas magnitudes se escriben en el fichero `.PRFI` en unidades métricas y en el fichero `.PRFE` en unidades inglesas.
SALIDA DE COMPONENTES		
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 distribución (Internal Rating Tables)	`.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 fichero `.WEIRI` está en unidades métricas y el fichero and `.WEIRE` en unidades inglesas.
SALIDA DE APOYO GIS		
Distribución espacial de resultados en formato GIS	`.EXP`	Para cada intervalo de salida, se escriben a fichero valores de velocidades nodales, calado, nivel de agua, elevación del fondo, cambios en la elevación del fondo, condición seco-mojado, número de Froude y flujo de transporte de sedimento. Estos ficheros pueden ser importados directamente en programas GIS. Los nombres de los ficheros son: `TIME_METRIC_DDDD_HH_MM_SS.EXP` para unidades métricas y `TIME_ENG_DDDD_HH_MM_SS.EXP` para unidades inglesas.
Valores máximos en formato GIS	`.EXP`	Estos ficheros ASCII reportan valores máximos del módulo de la velocidad, calado y elevaciones de la superficie del agua. Los nombres de los ficheros son: `<ProjectName>_METRIC_MAX.EXP` para unidades métricas y `<ProjectName>_ENG_MAX.EXP` para unidades inglesas. Ver comentario 1.
Ficheros de apoyo de tipo "'Shapefile"'	`.EXP`	Ficheros de apoyo que permiten generar "'ESRI Shapefiles"' para los vectores velocidad, calados y elevaciones de la superficie del agua. Ver comentario 1.
SALIDA GRÁFICA		
Malla	`.DXF`	Cuando la exportación a `DXF` está activada, el programa exportará la malla en formato DXF al fichero: `<ProjectName>_MESH.DXF`. Ver comentario 1.

Continued on next page

Table 10.1 – continued from previous page

RESULTADOS	EXTENSIÓN DEL FICHERO DE DATOS	DESCRIPCIÓN
Vectores de velocidad	`.DXF`	Vectores de velocidad en formatoDXF de AutoCAD. Ver comentario 1.
Varios	`.GIF`	Varias salidas en formato raster GIF. Ver comentario 1.
SALIDA DE AQUAVEO SMS		
Resultados generales	`.HDF5`	El modelo RiverFlow2D reportará ficheros `.HDF5` binarios, con datos de velocidades, calados, niveles de agua y sedimentos, cambios en la elevación del fondo, condición de seco-mojado, número de Froude y caudal de transporte de sedimento para cada intervalo de escritura. Los ficheros `.HDF5` pueden ser usados por SMS y otros programas de post-procesado para visualizar los resultados de RiverFlow2D. Ver comentario 1.
Visualization Toolkit Files		
Resultados generales	`.vtk`	Cuando se selecciona la casilla "'Create Graphic Output Files"' en el panel de salida gráfica ("'Graphic Output Panel"'), los modelos RiverFlow2D Plus y RiverFlow2D Plus GPU reportará ficheros `.vtk`, con datos de velocidades, calados, 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 ficheros pueden ser usados por software de terceros, incluyendo ParaView, para generar gráficos de alta calidad de los resultados de RiverFlow2D. ParaView (`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 procesado de ParaView.

10.1.0.1 Comentarios para los ficheros de salida

1. En los modelos RiverFlow2D Plus y Plus GPU, estos ficheros se generan solamente cuando se post-procesan los resultados usando la opción "'Plot RiverFlow2D results"' en el panel *Data Input Program Graphic Options* (ver la guía de usuario para más detalles).

10.2 Ficheros generales de salida

Esta sección describe el contenido de cada fichero de salida.

10.2.1 Resumen de las opciones de simulación

Estos ficheros replican los datos de entrada leídos de los ficheros, 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 fichero `.OUTI` está en unidades métricas y el fichero `.OUTE` en unidades inglesas. Una parte de ficheros típicos `.OUTI`/`.OUTE` se muestra a continuación:

10.2.2 Datos y métrica de la malla

Los datos de la malla se escriben en ficheros con extensiones: `.MESHOUTI` (unidades métricas) and `.MESHOUTE` (unidades inglesas). Estos ficheros proveen información completa sobre la malla de elementos triangulares. La siguiente tabla resume los datos disponibles.

Table 10.2 – Variables reportadas en los ficheros .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 fichero de condiciones de contorno
Node1, Node2, Node3	Numeración de los nodos de cada elemento en orden inverso a las agujas del reloj
n de Manning	Coeficiente de rozamiento n 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 fichero también reporta la lista de celdas agudas que tienen un ángulo interno menor que 22.5 grados. Si hay celda agudas, el modelo lanzará un mensaje de error y no se realizará la simulación.

A continuación se muestra una parte de un fichero típico:

```
================================================================================
================================================================================
                RiverFLO-2D Plus - Release  Plus 4.0
                                   Build    2014.01.02
================================================================================
             TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
                   (C) COPYRIGHT 2009-2013 Hydronia, LLC.
                             ALL RIGHTS RESERVED
                             RUN DATE: 20/JAN/2014
================================================================================

================================================================================
            TIME CONTROL OPTIONS
================================================================================
  Simulation time                 :     2.000 hrs.
  Report output interval          :     0.100 hrs.
  Use variable time-steps          : OFF.
  Time-step                       :     1.000 s.
  Start simulation                : Time = 0.
  Manning n multiplier            :      1.00
  Selective Lumping Parameter     :      0.90
  Input units                     : English.
  Depth tolerance for dry bed     :     0.300 ft.
  Wetting-drying method           : B.

================================================================================
            COMPONENT OPTIONS
================================================================================
  Culverts                   : OFF.
  Internal rating tables     : OFF.
  Piers                      : OFF.
  Rainfall/evaporation       : OFF.
  Sediment Transport         : OFF.
  Pollutant Transport        : OFF.
  Sources/Sinks              : OFF.
  Weirs                      : OFF.

================================================================================
            OUTPUT OPTIONS
================================================================================
  Output for cross sections : OFF.
  Output for profile        : OFF.
  Text output               : ON.
  Graphical output          : ON.

================================================================================
            INITIAL CONDITIONS
================================================================================
  Initial dry bed.

================================================================================
            PARALLEL COMPUTATION
================================================================================
 Model used  0 processors/cores with  0 theads.

================================================================================
            MESH DATA
================================================================================
 Number of elements/cells       :     1702
 Number of nodes                :      919

 Total mesh area                :    161.53 Acres
 Average element area           :   4135.77 ft2.
 Average element size (approx.) :     90.95 ft.
 Element with minimum area      :       192
 Minimum element size (approx.) :     73.37 ft.
 Minimum element area           :   2691.63 ft2.
 Minimum element area           :      0.06 Acres
 Element with maximum area      :       667
 Maximum element size (approx.) :    106.85 ft.
 Maximum element area           :   5708.34 ft2.
 Maximum element area           :      0.13 Acres
 Minimum element angle          :     39.69
 Element with minimum angle     :       279
 Maximum bed elevation          :    188.69
 Minimum bed elevation          :    149.75
```

```
================================================================================
              OPEN BOUNDARIES
================================================================================
  Number of Open Boundaries:    2

   Number of nodes on open boundary  1:       6
   node    bc type  bc file name
      2        6     QIN.DAT
      3        6     QIN.DAT
     23        6     QIN.DAT
     21        6     QIN.DAT
     19        6     QIN.DAT
     17        6     QIN.DAT

   Number of nodes on open boundary  2:      20
   node    bc type  bc file name
      5       12     0.0025
      6       12     0.0025
     41       12     0.0025
    124       12     0.0025
    141       12     0.0025
    162       12     0.0025
    164       12     0.0025
    166       12     0.0025
    168       12     0.0025
    170       12     0.0025
    172       12     0.0025
    174       12     0.0025
    176       12     0.0025
    178       12     0.0025
    180       12     0.0025
    182       12     0.0025
    160       12     0.0025
     48       12     0.0025
     11       12     0.0025
      9       12     0.0025

  Boundary    2 has uniform flow condition.

    Cross section for boundary No.    2

 Node  Distance Bed elevation
            ft.       ft.
          5      0.00    160.80
          6     99.14    161.20
         41    198.27    161.85
        124    297.41    162.05
        141    396.54    162.00
        162    495.68    161.40
        164    594.81    157.20
        166    693.95    154.80
        168    793.08    152.99
        170    892.22    156.09
        172    991.35    156.71
        174   1090.49    157.45
        176   1189.62    159.94
        178   1288.76    160.52
        180   1387.89    160.78
        182   1487.03    162.20
        160   1586.17    162.60
         48   1685.30    161.87
         11   1784.44    165.00
          9   1883.57    165.60

    Calculated Rating Table for boundary No.    2 using Slope = .250E-02 is:
         WSE                Q
          ft.              cfs
        153.150          0.409
        154.790        244.593
        156.431       1264.688
        158.071       4064.665
        159.712       9428.131
        161.352      14858.572
        162.993      25204.231
        164.633      47577.938
        166.273      74645.159
        167.914     109762.625
        169.554     150031.525
```

```
================================================================================
================================================================================
                RiverFLO-2D Plus - Release  Plus 4.0
                                   Build    2014.01.02
================================================================================
             TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
                  (C) COPYRIGHT 2009-2013 Hydronia, LLC.
                              ALL RIGHTS RESERVED
                              RUN DATE: 21/JAN/2014
================================================================================

================================================================================
            MESH DATA
================================================================================
 Number of elements/cells       :   470328
 Number of nodes                :   235682

   Node        X           Y       BEDEL    Initial WSE  BCType      BC File Name
                (ft)        (ft)      (ft)      (ft)
      1  1354873.46    70353.15    744.00    744.00       0               0
      2  1354870.94    70358.53    744.00    744.00       0               0
      3  1354870.95    70353.65    744.00    744.00       0               0
...
 235680  1355362.35    69365.86    753.00    753.00       0               0
 235681  1355393.07    69373.33    753.00    753.00       0               0
 235682  1355422.53    69380.48    753.00    753.00       0               0

  ELEMENT CONECTIVITY AND MANNING's n

  Element    Node1    Node2    Node3  Manning's n    Area        Angle
                                                    ft2         deg.
       1        1        2        3     0.027          6.11     24.95
       2        4        5        6     0.021          5.06     37.60
       3        7        8        9     0.021          4.28     30.56
  ...
  470326   233886   233885   234125     0.015         44.87     37.96
  470327   233886   234125   233792     0.015         45.49     37.50
  470328   233886   233792   233884     0.015         42.04     43.72

================================================================================
 Total mesh area                :    935.67 Acres
 Average element area           :     86.70 ft2.
 Average element size (approx.) :     13.17 ft.
 Element with minimum area      :     59246
 Minimum element size (approx.) :      1.21 ft.
 Minimum element area           :      0.73 ft2.
 Minimum element area           :      0.00 Acres
 Element with maximum area      :    452423
 Maximum element size (approx.) :     59.82 ft.
 Maximum element area           :   1789.11 ft2.
 Maximum element area           :      0.04 Acres
 Minimum element angle          :     22.68
 Element with minimum angle     :    456512
 Maximum bed elevation          :    865.00
 Minimum bed elevation          :    636.70

 ================================================================================
  ACUTE ELEMENT REPORT (Elements with an internal angle less than 22.5 degrees.)

================================================================================

  The mesh has no acute angle elements.

================================================================================
              EXTERNAL BOUNDARY NODES (COUNTERCLOCKWISE)
================================================================================
  Number of Nodes on Boundary:          913
    Node        X             Y
                ft.           ft.
      40   1345765.970     66480.270
      41   1345775.791     66472.959
...
     383   1353535.918     70972.028
     251   1353532.384     70953.376
```

10.2.3 Resumen de la simulación

El informe con el resumen de la simulación se escribe en un fichero con la extensión: `.ROUT`. Estos ficheros reportan, para cada intervalo de salida, el timepo 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 fichero .ROUT

```
================================================================================
================================================================================
        RiverFlow2D Plus - Release 4.2.1
                           Build Jul 28 2015
================================================================================
             TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
                       (C) COPYRIGHT 2009-2015 Hydronia, LLC.
                                    ALL RIGHTS RESERVED
                                    RUN DATE: 02/Sep/2015
================================================================================

================================================================================
                          MODEL RUN REPORT
================================================================================
    TIME          CPU Time       Ave.DT        Open Boundary          Q      Vol. Error       Qs        Mass Error
                                   (s)                               (cfs)      (%)          (cfs)        (%)
0000:00:06:00   0000:00:00:00     4.000            01                0.00   0.000e-000       0.00      0.000e-000
                                                   02                0.00   0.000e-000       0.00      0.000e-000
                                                   03               -0.00   0.000e-000      -0.00      0.000e-000
0000:00:12:00   0000:00:00:00     4.000            01                0.00   0.000e-000       0.00      0.000e-000
                                                   02                0.00   0.000e-000       0.00      0.000e-000
                                                   03               -0.00   0.000e-000      -0.00      0.000e-000
0000:07:24:00   0000:00:08:59     0.104            01              894.84   1.552e-014      -1.80      1.552e-014
                                                   02              894.84   1.552e-014       0.76      1.552e-014
                                                   03            -1876.58   1.552e-014      -2.84      1.552e-014
0000:07:30:00   0000:00:09:11     0.103            01              838.03   0.000e+000      -1.73      0.000e+000
                                                   02              838.03   0.000e+000       0.76      0.000e+000
                                                   03            -1782.05   0.000e+000      -2.40      0.000e+000
0000:07:36:00   0000:00:09:23     0.102            01              777.48   3.390e-014      -1.11      3.390e-014
                                                   02              777.48   3.390e-014       0.74      3.390e-014
                                                   03            -1656.45   3.390e-014      -2.09      3.390e-014
0000:07:42:00   0000:00:09:35     0.102            01              719.20   8.900e-014      -1.06      8.900e-014
                                                   02              719.20   8.900e-014       0.71      8.900e-014
                                                   03            -1533.72   8.900e-014      -1.92      8.900e-014
0000:07:48:00   0000:00:09:45     0.101            01              692.86   7.390e-014      -0.56      7.390e-014
                                                   02              692.86   7.390e-014       0.70      7.390e-014
                                                   03            -1442.47   7.390e-014      -1.71      7.390e-014
0000:07:54:00   0000:00:09:55     0.101            01              649.77   0.000e+000      -0.55      0.000e+000
                                                   02              649.77   0.000e+000       0.65      0.000e+000
                                                   03            -1380.99   0.000e+000      -1.69      0.000e+000
0000:08:00:00   0000:00:10:05     0.100            01              623.81   1.985e-014      -0.63      1.985e-014
                                                   02              623.81   1.985e-014       0.67      1.985e-014
                                                   03            -1294.89   1.985e-014      -1.58      1.985e-014
```

10.2.4 Ficheros de salida tabulados

Estos ficheros reportan, velocidades nodales, calados, 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 ficherho `.UVHI` está en unidades métricas y el fichero `.UVHE` en unidades inglesas.

A continuación, se muestra un fichero 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 (m2/s)	QSY (m2/s)	QS (m2/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	1.820	0.000	1.820	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 Ficheros de área de inundación

Estos ficheros reportan el área de inundación (área mojada) calculada como la suma de las áreas de todos los elementos mojados. El nombre del fichero tiene una extensión `.WETAREAS`. Los valores máximos del modelo RiverFlow2D Plus solamente serán generados usando el botón de post-procesado "'Plot RiverFlow2D results"' en el panel "'Graphic Output Options"'.

A continuación se muestra un ejemplo de salida típica:

```
================================================================================
================================================================================
                RiverFLO-2D Plus - Release  Plus 4.0
                                   Build    2013.31.10
================================================================================
             TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
                  (C) COPYRIGHT 2009-2013 Hydronia, LLC.
                            ALL RIGHTS RESERVED
                            RUN DATE: 15/DEC/2013
================================================================================

    Time        Discharge       Wet Area
    (hrs)         (cfs)         (Acres)


    0.00            0.00           0.36
    0.10         7401.14          12.74
    0.20        13936.11          29.94
    0.30        20575.41          53.13
    0.40        27186.71          63.14
    0.50        33721.15          76.88
    0.60        40251.22          87.35
    0.70        46784.87          98.52
    0.80        53314.32         108.80
    0.90        59847.18         116.09
    1.00        66377.14         124.38
    1.10        66385.90         128.41
    1.20        66386.14         128.69
    1.30        66386.19         129.24
    1.40        66386.11         129.54
    1.50        66386.24         129.71
    1.60        66386.18         129.71
    1.70        66386.18         130.11
    1.80        66386.21         130.60
    1.90        66386.13         131.04
    2.00        66386.23         131.08
```

10.2.6 Ficheros tabulados de valor máximo

Estos ficheros reportan los valores nodales máximos del módulo de la velocidad, calado, elevaciones de la supercicie del agua y cambios en el fondo a lo largo de la simulación completa. El fichero `.MAXI` está en unidades métricas y el fichero `.MAXE` en unidades inglesas. Las variables reportadas están descritas en la siguiente tabla:

Table 10.3 – Variables reportadas on the Observation Point Files.

COLUMNA	VARIABLE	DESCRIPCIÓN	UNIDADES INGLESAS	UNIDADES MÉTRICAS
1	Nodo	Tiempo en horas	-	-
2	X	Componente de la velocidad en dirección X	ft	m
3	Y	Componente de la velocidad en dirección Y	ft	m
4	MAX VEL	Magnitud de la velocidad máxima $\sqrt{U^2+V^2}$	ft/s	m/s
5	MAX DEPTH	Calado máximo	ft	m
6	MAX WSEL	Nivel de agua máximo	ft	m
7	MAX BEDEL	Maximum bed elevation*	ft	m
8	MIN BEDEL	Maximum bed elevation*	ft	m
9	MIN EROSION DEPTH	Minimum erosion depth*	ft	m
10	MAX DEPOSITION DEPTH	Maximum deposition depth*	ft	m

**Salida cuando se utiliza la componente de transporte de sedimentos.*

A continuación, se muestra un fichero de salida típico `.MAXE`:

```
================================================================================
================================================================================
                RiverFLO-2D Plus - Release  Plus 4.0
                                 Build    2013.31.10
================================================================================
            TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
                 (C) COPYRIGHT 2009-2013 Hydronia, LLC.
                           ALL RIGHTS RESERVED
                           RUN DATE: 15/DEC/2013
================================================================================

 MAXIMUM VELOCITIES AND DEPTHS IN ENGLISH UNITS

         FOR TIME (DDDD:HH:MM:SS): 0000:02:00:00

         NODE  MAX VELOCITY   MAX DEPTH     WSEL
                    (ft/s)        (ft)       (ft)
           1     3.086        4.284       164.686
           2     2.692        4.288       164.690
           3     4.978        4.234       164.636
           4     1.628        4.382       164.784
           5     0.000        2.322       168.450
           6     0.000        0.000      -999.000
           7     0.000        0.000      -999.000
           8     2.285        2.705       166.117
           9    13.216       15.618       177.182
          10    12.827       15.858       177.419
          11    13.316       14.995       176.896
          12    12.970       16.006       177.390
          13     3.224        4.363       164.764
          14     3.158        4.398       164.800
          15     0.000        0.000      -999.000
          16     0.000        0.000      -999.000
          17     4.297        4.096       164.631
          18     4.994        3.968       164.636
          19     1.525        1.819       166.588
          20     3.048        2.076       164.345
          21    13.404       14.807       176.820
          22    12.814       14.486       176.781
          23    13.135       15.867       177.282
          24    12.954       16.014       177.398
          25    13.251       15.594       177.129
          26     3.591        4.330       164.765
          27     3.593        4.388       164.790
          28    13.021       16.196       177.362
          29    13.041       16.356       177.414
          30    13.020       16.126       177.293
```

10.2.7 Observation Point Output Files

Estos ficheros reportan series temporales de resultados en los puntos de observación. El programa encuentra el nodo más cercano a la coordenada del punto de observación y escribe las series temporales de resultados de las siguientes variables:

Table 10.4 – Variables reportadas en los ficheros de puntos de observación.

COLUMNA	VARIABLE	DESCRIPCIÓN	UNIDADES INGLESAS	UNIDADES MÉTRICAS
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 máxima $\sqrt{U^2+V^2}$	ft/s	m/s
5	DEPTH	Calado máximo	ft	m
6	WSEL	Nivel de agua máximo	ft	m
7	BEDEL_ORI	Elevación de fondo máxima*	ft	m
8	BEDEL	Elevación de fondo máxima*	ft	m
9	DELTA_BED	Profundidad de erosión mínima mínima o máxima?*	ft	m
10	Froude	Profundidad de deposición máxima*	ft	m
11	QSX	Caudal volumétrico de sedimento por unidad de anchura en dirección X	ft^2/s	m^2/s

Continued on next page

Table 10.4 – continued from previous page

COLUMNA	VARIABLE	DESCRIPCIÓN	UNIDADES INGLESAS	UNIDADES MÉTRICAS
12	QSY	Caudal volumétrico de sedimento por unidad de anchura en dirección Y	ft^2/s	m^2/s
13	QS	Magnitud del caudal volumétrico de sedimento $Q_s = \sqrt{Q_{sx}^2 + Q_{sy}^2}$	ft^2/s	m^2/s

El nombre del fichero para cada nodo es:

`RESvsT_NODENUMBER.OUTI` para unidades métricas y
`RESvsT_NODENUMBER.OUTE` para unidades inglesas.

Por ejemplo: `RESvsT_0000010.OUTI` es el nombre del fichero para las series temporales de resultados del nodo 10. A continuación, se muestra un ejemplo de este fichero:

```
================================================================================
================================================================================
                RiverFLO-2D Plus - Release  Plus 4.0
                                   Build    2013.31.07
================================================================================
            TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
                 (C) COPYRIGHT 2009-2013 Hydronia, LLC.
                              ALL RIGHTS RESERVED
                              RUN DATE: 29/OCT/2013
================================================================================

 RESULTS FOR CELL:     1118 OBSERVATION POINT ID: 1
  LOCATED AT COORDINATE: (  6238711.74),(  1964942.41)

     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)                (ft2/s)      (ft2/s)      (ft2/s)
   0.00000     0.000     0.000      0.000     0.000    554.513    554.513    554.513      0.000    0.000    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
   0.50000     7.652   -16.205     17.921     7.404    561.917    554.513    554.513      0.000    1.162    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
   1.00000     7.638   -16.021     17.749     7.161    561.674    554.513    554.513      0.000    1.170    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
   1.50000     7.592   -15.784     17.515     6.857    561.369    554.513    554.513      0.000    1.180    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
   2.00000     7.394   -15.384     17.068     6.678    561.190    554.513    554.513      0.000    1.165    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
   2.50000     7.376   -15.237     16.929     6.494    561.007    554.513    554.513      0.000    1.172    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
   3.00000     7.174   -14.790     16.438     6.599    561.112    554.513    554.513      0.000    1.129    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
   3.50000     7.172   -14.785     16.433     6.595    561.108    554.513    554.513      0.000    1.129    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
   4.00000     7.203   -14.878     16.529     6.651    561.164    554.513    554.513      0.000    1.130    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
   4.50000     7.266   -15.066     16.726     6.777    561.290    554.513    554.513      0.000    1.133    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
   5.00000     7.499   -15.472     17.194     6.888    561.401    554.513    554.513      0.000    1.155    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
   5.50000     7.703   -15.876     17.647     7.110    561.623    554.513    554.513      0.000    1.167    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
   6.00000     7.654   -16.040     17.772     7.556    562.069    554.513    554.513      0.000    1.140    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
   6.50000     7.839   -16.614     18.370     7.881    562.394    554.513    554.513      0.000    1.154    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
   7.00000     7.784   -16.788     18.505     8.583    563.096    554.513    554.513      0.000    1.114    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
   7.50000     7.736   -16.986     18.665     9.090    563.603    554.513    554.513      0.000    1.092    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
   8.00000     7.785   -17.432     19.091     9.531    564.044    554.513    554.513      0.000    1.091    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
   8.50000     7.653   -17.293     18.911    10.330    564.842    554.513    554.513      0.000    1.038    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
   9.00000     7.548   -17.342     18.913    11.028    565.541    554.513    554.513      0.000    1.004    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
   9.50000     7.507   -17.283     18.843    11.818    566.331    554.513    554.513      0.000    0.967    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  10.00000     7.736   -17.857     19.461    12.142    566.655    554.513    554.513      0.000    0.985    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  10.50000     7.872   -18.155     19.788    12.754    567.266    554.513    554.513      0.000    0.977    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  11.00000     7.869   -18.237     19.862    13.724    568.236    554.513    554.513      0.000    0.946    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  11.50000     8.038   -18.733     20.385    14.445    568.958    554.513    554.513      0.000    0.946    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  12.00000     8.083   -18.898     20.554    15.214    569.726    554.513    554.513      0.000    0.929    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  12.50000     8.199   -19.286     20.956    15.884    570.397    554.513    554.513      0.000    0.927    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  13.00000     8.307   -19.552     21.243    16.294    570.807    554.513    554.513      0.000    0.928    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  13.50000     8.453   -19.908     21.629    16.718    571.231    554.513    554.513      0.000    0.933    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  14.00000     8.662   -20.378     22.142    17.210    571.722    554.513    554.513      0.000    0.941    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  14.50000     8.801   -20.715     22.507    17.872    572.384    554.513    554.513      0.000    0.939    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  15.00000     8.977   -21.152     22.978    18.292    572.805    554.513    554.513      0.000    0.948    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  15.50000     9.013   -21.414     23.234    18.892    573.405    554.513    554.513      0.000    0.943    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  16.00000     9.321   -21.982     23.877    19.307    573.820    554.513    554.513      0.000    0.958    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  16.50000     9.645   -22.399     24.387    19.744    574.257    554.513    554.513      0.000    0.968    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  17.00000     9.770   -22.614     24.634    20.302    574.815    554.513    554.513      0.000    0.964    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  17.50000     9.884   -22.837     24.884    20.815    575.328    554.513    554.513      0.000    0.962    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  18.00000    10.108   -23.088     25.204    21.182    575.695    554.513    554.513      0.000    0.966    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  18.50000    10.037   -23.142     25.224    21.553    576.066    554.513    554.513      0.000    0.958    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  19.00000    10.017   -23.184     25.256    21.798    576.311    554.513    554.513      0.000    0.954    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  19.50000    10.024   -23.235     25.305    21.892    576.405    554.513    554.513      0.000    0.954    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  20.00000    10.014   -23.218     25.285    21.879    576.392    554.513    554.513      0.000    0.953    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  20.50000    10.011   -23.142     25.214    21.734    576.247    554.513    554.513      0.000    0.954    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  21.00000    10.005   -23.067     25.143    21.545    576.058    554.513    554.513      0.000    0.955    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  21.50000    10.065   -23.085     25.184    21.204    575.717    554.513    554.513      0.000    0.965    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  22.00000    10.073   -22.982     25.092    20.817    575.330    554.513    554.513      0.000    0.970    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  22.50000     9.834   -22.630     24.674    20.583    575.096    554.513    554.513      0.000    0.959    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  23.00000     9.742   -22.462     24.484    20.188    574.700    554.513    554.513      0.000    0.961    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
  23.50000     9.447   -22.149     24.079    19.748    574.261    554.513    554.513      0.000    0.956    0.00E+00     0.00E+00     0.00E+00
```

10.2.8 Fichero "'Hot Start"'

El fichero de arranque en caliente o "'hot start"' `2binitialized.HOTSTART` se emplea para reiniciar una simulación a partir de resultados previamente calculados y cuando la opción "'hot start"' está seleccionada. Por defecto, el fichero contiene el nombre del último tiempo de reporte en segundos y el correspondiente fichero de resultados (state). 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 para revisar los resultados o por cualquier otra razón, el fichero `2binitialized.HOTSTART` contendría el siguiente texto:

```
18000 state5.out
```

Nótese que los archivos "'stateN.out"' se nombran secuencialmente. Por ejemplo, "'stateN.out"' corresponde al N-ésimo intervalo de reporte.

RiverFlow2D puede ser reiniciado desde cualquier tiempo en el que existan resultados, leyendo las condiciones iniciales desde el fichero "'stateN.out"', indicado en el fichero `2binitialized.HOTSTART`. Para reiniciar desde un tiempo diferente que el último claculado, simplemente se debe editar el fichero `2binitialized.HOTSTART` e introducir el tiempo deseado (en segundos) y el correspondiente nombre del fichero "'stateN.out"' que se empleará como condición inicial. Por ejemplo, para realizar un "'hot start"' desde la hora 3 (10800 segundos) y asumiendo que el intervalo de reporte es de 0.5 horas, el fichero `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. Asumiendo que el tiempo final de reporte se corresponde con el fichero `state20.out`, el usuario puede editar el fichero `2binitialized.HOTSTART` como se muestra a continuación:

```
0 state20.out
```

Entonces, cuando se lance RiverFlow2D usando la opción "'hot start"', el modelo comenzará asumiendo que los datos en el fichero"'state20.out"' definirá las condiciones iniciales. El usuario puede querer mantener los ficheros `2binitialized.HOTSTART` y `state20.out` en un directorio a parte y copiarlos a la carpeta del proyecto para cada escenario deseado.

Por favor, 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 fichero "'stateN.out"' correspondiente a esa malla.

10.3 Ficheros de salida de componentes

10.3.1 Ficheros de salida de alcantarillas

Para cada alcantarilla, RiverFlow2D genera un fichero de salida llamado: `CULVERT_culvertID.OUT`, donde "'culvertID"' es el texto provisto por el usuario para identificar la alcantarilla. El fichero de salida incluye el caudal para cada intervalo de reporte, como se muestra a continuación:

```
================================================================================
================================================================================
                RiverFLO-2D PLUS Release  4.0
                             Build    2013.31.08
================================================================================
            TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
                 (C) COPYRIGHT 2009-2013 Hydronia, LLC.
                             ALL RIGHTS RESERVED
                             RUN DATE: 20/SEP/2013
================================================================================
================================================================================
  Results for Culvert no.:     1 Culvert ID: Prepust_AC
================================================================================
      Time         Qc        WSEL1       WSEL2
      hrs.         m3/s        m.          m.
     0.04980      0.000     67.715      66.840
     0.09987      0.000     67.715      66.840
     0.14995      0.000     67.715      66.840
     0.19975      0.000     67.715      66.840
     0.24982      0.000     67.715      66.840
     0.29989      0.000     67.715      66.840
     0.34997      0.000     67.715      66.840
     0.39977      0.000     67.715      66.840
     0.44984      0.000     67.715      66.840
     0.49991      0.000     67.715      66.840
     0.54998      0.000     67.715      66.840
     0.59978      0.000     67.715      66.840
     0.64986      0.000     67.715      66.840
     0.69993      0.000     67.715      66.840
     0.74973      0.000     67.715      66.840
     0.79980      0.000     67.715      66.840
     0.84988      0.000     67.715      66.840
     0.89995      0.000     67.715      66.840
     0.94984      0.000     67.715      66.840
     0.99982      0.000     67.715      66.840
     1.04995      0.000     67.715      66.840
     1.09981      0.000     67.715      66.840
     1.15001      0.000     67.715      66.840
     1.19998      0.000     67.715      66.840
     1.24998      0.000     67.715      66.840
     1.29999      0.000     67.715      66.840
     1.35000      0.000     67.056      66.228
     1.39999      1.828     67.450      67.436
     1.45000      2.899     67.523      67.487
     1.50000      3.280     67.801      67.754
     1.54999      3.591     67.831      67.776
     1.59998      3.799     67.927      67.865
     1.64999      4.144     67.953      67.879
     1.69999      4.257     67.961      67.883
     1.74998      4.096     67.959      67.886
     1.79998      4.184     67.961      67.885
     1.84999      4.035     67.959      67.889
```

10.3.2 Ficheros de salida de las tablas de distribución interna

Para cada tabla de distribución interna (Internal Rating Table), RiverFlow2D genera un archivo de salida llamado: `IRT_irtID.OUT`, donde "'irtID"' es el texto provisto por el usuario para identificar le IRT. El fichero de salida incluye el caudal para cada intervalo de reporte, como se muestra a continuación:

```
================================================================================
================================================================================
        RiverFLO-2D Plus - Release 4.1
                           Build Jan 30 2014
================================================================================
             TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
                        (C) COPYRIGHT 2009-2014 Hydronia, LLC.
                                        ALL RIGHTS RESERVED
                                        RUN DATE: 04/Feb/2014
================================================================================

================================================================================
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 Ficheros de salida de vertederos

Estos ficheros reportan resultados para cada vertedero y para cada intervalo de salida. La extensión de los ficheros es `.WEIRI` para unidades métricas y `.WEIRE` para unidades inglesas. El reporte de salida incluye la siguiente información:

Table 10.5 – Variables reportadas en los ficheros 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	Calado en la celda N1
D2	Calado en la celda N2
Distancia	Longitud de la cara
Q	Caudal en la cara

A continuación, se muesrtra un fichero de salida típico de vertederos:

```
================================================================================
================================================================================
        RiverFLO-2D Plus - Release 4.1
                         Build Mar  3 2014
================================================================================
             TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
                        (C) COPYRIGHT 2009-2014 Hydronia, LLC.
                                      ALL RIGHTS RESERVED
                                      RUN DATE: 03/Mar/2014
================================================================================

 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)      (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    527.14     527.14      0.64      3.14      6.00      0.15
Total discharge over weir Q =     1.597 m3/s
```

10.4 Ficheros de salida de perfiles y secciones transversales

10.4.1 Ficheros de salida generales para las secciones transversales

Cuando se usa la opción *Output results* para *cross sections*, el modelo generará ficheros 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, calado, nivel de agua, velocidad promediada en la vertical, número de Froude y caudal volumétrico de sedimento por unidad de anchura se escribirán en el fichero `.XSECI` en unidades métricas y en el fichero `.XSECE` en unidades inglesas. Un fichero típico `.XSECI` sería:

```
================================================================================
================================================================================
                RiverFLO-2D Plus - Release  Plus 4.0
                                   Build    2013.31.10
================================================================================
            TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
                 (C) COPYRIGHT 2009-2013 Hydronia, LLC.
                           ALL RIGHTS RESERVED
                           RUN DATE: 15/DEC/2013
================================================================================

 CROSS SECTION RESULTS IN SI UNITS

 TIME: 0000 days, 00 hours, 06 min.,00 secs.


 CROSS SECTION NO.:   1 CROSS SECTION ID: CROSS1

 (     243389.02,      94311.52), (     243540.97,      94454.32)
  ELEM     STATION      BEDEL      DEPTH       WSEL     VELOCITY   FROUDE       QS
               (m)        (m)        (m)        (m)        (m/s)              (m2/s)
  1278       25.02      49.54       1.15      50.68       1.39       0.41   0.000000
  1279       33.36      49.54       1.15      50.68       1.50       0.45   0.000000
  1280       35.45      49.43       1.26      50.70       1.44       0.41   0.000000
  1281       41.70      49.42       1.27      50.69       1.55       0.44   0.000000
  1282       47.96      49.42       1.28      50.70       1.56       0.44   0.000000
  1283       50.04      49.27       1.44      50.70       1.58       0.42   0.000000
  1336       54.21      49.34       1.34      50.68       1.65       0.46   0.000000
  1515       58.38      49.16       1.53      50.69       1.74       0.45   0.000000
  1513       66.73      49.12       1.58      50.70       1.70       0.43   0.000000
  1512       68.81      48.92       1.78      50.70       1.75       0.42   0.000000
  1475       77.15      48.79       1.91      50.70       1.80       0.42   0.000000
  1476       79.24      48.65       2.04      50.70       1.73       0.39   0.000000
   381       87.58      48.77       1.91      50.68       1.77       0.41   0.000000
   379       95.92      49.64       1.02      50.65       1.92       0.61   0.000000
   351      104.26      50.24       0.44      50.68       1.83       0.88   0.000000
   352      108.43      50.03       0.49      50.52       1.96       0.90   0.000000
   318      114.68      50.70       0.04      50.74       0.36       0.58   0.000000
   276      123.03      51.08       0.00      51.08       0.00       0.00   0.000000
   235      131.37      51.82       0.00      51.82       0.00       0.00   0.000000
   192      139.71      52.13       0.00      52.13       0.00       0.00   0.000000
   193      148.05      52.13       0.00      52.13       0.00       0.00   0.000000
   129      150.13      52.12       0.00      52.12       0.00       0.00   0.000000
   130      156.39      52.14       0.00      52.14       0.00       0.00   0.000000
    55      158.47      52.27       0.00      52.27       0.00       0.00   0.000000
    56      164.73      52.31       0.00      52.31       0.00       0.00   0.000000
    53      166.81      52.36       0.00      52.36       0.00       0.00   0.000000
    54      173.07      52.36       0.00      52.36       0.00       0.00   0.000000
 Q =    206.975 m3/s.
```

Cuando solamente se simula la componente hidrodinámica, los ficheros `.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 ficheros reportarán el caudal total de sedimento en ft^3/s ó m^3/s.

10.4.2 Ficheros de salida de hidrogramas de secciones transversales

Estos ficheros solamente se generarán usando el botón de post-procesado "'Plot RiverFlow2D results"' en el panel "'Graphic Output Options"'. Cuando se emplea la opción *Output results for cross sections*, el modelo generará ficheros 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 fichero `.XSECH` típico: (errata en la versión en inglés)

```
================================================================================
================================================================================
                RiverFLO-2D Plus - Release  Plus 4.0
                                   Build    2013.31.10
================================================================================
            TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
                 (C) COPYRIGHT 2009-2013 Hydronia, LLC.
                           ALL RIGHTS RESERVED
                           RUN DATE: 15/DEC/2013
================================================================================

 Hydrograph for cross sections in cfs, time in hours.

     Time        CROSS1        CROSS2        CROSS3

   0.00000         0.000         0.000         0.000
   0.10000      7309.242         0.000         0.000
   0.20000     14110.469      9297.244         0.000
   0.30000     20795.390     15836.941      4226.598
   0.40000     27414.470     22501.921     15747.631
   0.50000     34057.759     29757.209     23021.471
   0.60000     40710.035     36935.477     31311.475
   0.70000     47357.998     44127.966     38937.936
   0.80000     54011.200     50918.418     46109.916
   0.90000     60652.336     57802.940     52271.772
   1.00000     67281.089     64461.808     59843.796
   1.10000     67393.541     66660.524     65363.158
   1.20000     67403.150     66955.816     66720.124
   1.30000     67404.687     67005.883     67011.927
   1.40000     67404.932     67014.168     67066.649
   1.50000     67404.981     67015.506     67076.358
   1.60000     67404.985     67015.795     67077.695
   1.70000     67404.983     67016.257     67077.356
   1.80000     67404.981     67016.418     67076.416
   1.90000     67404.981     67016.747     67075.477
   2.00000     67404.981     67017.041     67074.916
```

10.4.3 Ficheros de salida de perfiles

Cuando se usa la opción *Output results for profiles*, el modelo generará ficheros 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 ficheros contendrán el nivel del fondo, calado, nivel del agua, velocidad promediada en la vertical y número de Froude. El fichero `.PRFI` está en unidades métricas y el fichero `.PRFE` en unidades inglesas. A continuación, se muestra un ejemplo:

```
================================================================================
================================================================================
        RiverFLO-2D Plus - Release 4.1
                           Build Nov  4 2013
================================================================================
             TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
                    (C) COPYRIGHT 2009-2013 Hydronia, LLC.
                             ALL RIGHTS RESERVED
                             RUN DATE: 17/Dec/2013
================================================================================

 PROFILE RESULTS IN ENGLISH UNITS

 TIME: 0000 days,00 hours,00 min.,00 secs.

 PROFILE NO.:   1 PROFILE ID: PROFILE1
```

ELEM	DISTANCE (ft)	BEDEL (ft)	DEPTH (ft)	WSEL (ft)	VELOCITY (ft/s)	FROUDE
6	0.00	161.38	1.43	162.81	0.00	0.00
19	50.90	160.63	2.17	162.81	0.00	0.00
21	101.79	161.30	0.00	161.30	0.00	0.00
32	152.69	161.45	0.00	161.45	0.00	0.00
32	203.58	161.45	0.00	161.45	0.00	0.00
73	254.48	161.79	0.00	161.79	0.00	0.00
74	305.37	160.85	0.00	160.85	0.00	0.00
81	356.27	161.03	0.00	161.03	0.00	0.00
94	407.16	160.90	0.00	160.90	0.00	0.00
93	458.06	161.29	0.00	161.29	0.00	0.00
98	508.95	161.25	0.00	161.25	0.00	0.00
176	559.85	160.68	0.00	160.68	0.00	0.00
176	610.74	160.68	0.00	160.68	0.00	0.00
179	661.64	160.41	0.00	160.41	0.00	0.00
297	712.53	160.39	0.00	160.39	0.00	0.00
298	763.43	159.86	0.00	159.86	0.00	0.00
439	814.32	160.61	0.00	160.61	0.00	0.00
440	863.58	160.43	0.00	160.43	0.00	0.00
442	912.84	160.86	0.00	160.86	0.00	0.00
443	962.10	160.40	0.00	160.40	0.00	0.00
444	1011.36	160.73	0.00	160.73	0.00	0.00
445	1060.61	159.37	0.00	159.37	0.00	0.00
446	1109.87	160.68	0.00	160.68	0.00	0.00
448	1159.13	160.71	0.00	160.71	0.00	0.00
448	1208.39	160.71	0.00	160.71	0.00	0.00
450	1257.64	159.37	0.00	159.37	0.00	0.00
451	1306.90	158.47	0.00	158.47	0.00	0.00
1177	1356.16	160.29	0.00	160.29	0.00	0.00
1233	1407.84	159.28	0.00	159.28	0.00	0.00
1233	1459.53	159.28	0.00	159.28	0.00	0.00
1259	1511.22	162.75	0.00	162.75	0.00	0.00

10.5 Ficheros de salida para post-procesado GIS

10.5.1 Ficheros generales de distribución espacial para SMS (.HDF5)

Estos ficheros binarios permiten una transferencia al software SMS de Aquaveo. Estos ficheros solamente podrán ser leídos con SMS u otros programas apropiados. Usan la extensión `.HDF5` y en RiverFlow2D se llaman de la siguiente manera:

Resultados en los nodos para todos los tiempos de reporte: `<ProjectName>_RESULTS.HDF5`
Valores máximos en los nodos: `<ProjectName>_MAXIMUM_RESULTS.HDF5`

donde `<ProjectName>` es el nombre del a malla o proyecto. Por ejemplo:

`Mesh1_RESULTS.HDF5`

`Mesh1_MAXIMUM_RESULTS.HDF5`

donde `Mesh1` es el nombre del proyecto. El contenido de los ficheros con *resultados en los nodos* se describe en la Tabla 10.6.

Table 10.6 – Variables reportadas en los ficheros de salida _RESULTS.HDF5.

	VALOR	UNIDADES INGLESAS	UNIDADES MÉTRICAS
1	Número de nodo	-	-
2	Coordenada X del nodo	ft	m
3	Coordenada Y del nodo	ft	m
4	Componente X de la velocidad (U)	ft/s	m/s
5	Componente Y de la velocidad (V)	ft/s	m/s
6	Magnitud de la velocidad $\left\vert\vec{U}\right\vert = \sqrt{U^2+V^2}$	ft/s	m/s
7	Elevación de la superficie del agua	ft	m
8	Calado H	ft	m
9	Elevación inicial del fondo	ft	m
10	Elevación del fondo	ft	m
11	Cambios en la elevación del fondo desde tiempo=0	ft	m
12	Seco o mojado	Seco=1 / Mojado=0	Seco=1 / Mojado=0
13	Número de Froude	-	-
14	Caudal volumétrico de sedimento por unidad de anchura en dirección X: Q_{sx}	ft^2/s	m^2/s
15	Caudal volumétrico de sedimento por unidad de anchura en dirección Y: Q_{sy}	ft^2/s	m^2/s
16	Magnitud del caudal volumétrico de sedimento: $Q_s\sqrt{Q_{sx}^2+Q_{sy}^2}$	ft^2/s	m^2/s
17	Esfuerzo cortante con el fondo*: $\tau = \gamma H S_f = \gamma\left(Un/k\right)^2/H^{1/3}$	lb/ft^2	Pa
18	Volumen de lluvia acumulada	ft^3	m^3
19	Volumen de infiltración acumulada	ft^3	m^3
20	Concentración para cada soluto**	Same as in BC's	Same as in BC's

Continued on next page

Table 10.6 – continued from previous page

	VALOR	UNIDADES INGLESAS	UNIDADES MÉTRICAS
21	Concentración para cada fracción de sedimento en suspensión***	Cv	Cv

*Unidades inglesas: $= 62.4 lb/ft^3$, $k = 1.49$.
*Unidades métricas: $= 9810 N/m^3$; $k = 1$, n = coeficiente de Manning.
**Escrito solamente cuando se simula con los módulos PL o WQ.
***Escrito solamente cuando se simula con los módulos ST con sedimento en suspensión.

Los ficheros de valores máximos en los nodos, `<ProjectName>_MAXIMUM_RESULTS.HDF5`, reportan los valores máximos del módulo de la velocidad, calado y nivel de la superficie del agua y también pueden ser mostrados en SMS. El contenido de estos ficheros se describe en las tablas 10.7 y 10.8.

Table 10.7 – Variables dinámicas reportadas en los ficheros <ProjectName>_MAXIMUM_RESULTS.HDF5.

	VALOR	UNIDADES INGLESAS	UNIDADES MÉTRICAS
1	Coordenada X del nodo	ft	m
2	Coordenada Y del nodo	ft	m
3	Magnitud de la velocidad máxima $\sqrt{U_x^2 + U_y^2}$	ft/s	m/s
4	Calado máximo	ft	m
5	Nivel de agua máximo	ft	m
6	Elevación del fondo máxima*	ft	m
7	Elevación del fondo mínima*	ft	m
8	Máxima profundidad de erosión mínima o máxima?*	ft	m
9	Máxima profundidad de deposición*	ft	m
10	Tiempo de inundación	$hrs.$	$hrs.$
11	Tiempo hasta 0.30 m (métricas) ó 1 ft. (inglesas)*	$hrs.$	$hrs.$
12	Tiempo hasta 0.60 m (métricas) ó 2 ft. (inglesas)*	$hrs.$	$hrs.$
13	Tiempo hasta 1 m (métricas) ó 3 ft. (inglesas)*	$hrs.$	$hrs.$
14	Tiempo hasta el calado máximo*	$hrs.$	$hrs.$

*Salida cuando se usa la componente de transporte de sedimentos.

Table 10.8 – Variables dinámicas reportadas en los archivos <ProjectName>_MAXIMUM_RESULTS.HDF5.

COLUMNA	VALOR	ZONAS DE RIESGO
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/escombros	0, 1, 2, y 3
8	Método austriaco para inundaciones de ríos	0, 1, y 2
9	Método austriaco para torrentes Tr=100 yrs.	0, 1, y 2

Continued on next page

Table 10.8 – continued from previous page

COLUMNA	VALOR	ZONAS DE RIESGO
10	Austrian Method for Torrents Tr=10 yrs.	0, 1, y 2
11	Método de UK	0, 1, 2, y 3

.

10.5.2 Ficheros generales de distribución espacial (.EXP)

Estos ficheros ASCII permiten una transferencia a un software GIS (Sistema de Información Geográfica). Estos ficheros usan la extensión `.EXP` y son nombrados como sigue:

Para unidades inglesas: `TIME_ENG_DDDD_HH_MM_SS.EXP`
Para unidades métricas: `TIME_METRIC_DDDD_HH_MM_SS.EXP`

donde DDDD son los días, HH son las horas, MM son los minutos y SS los segundos. Por ejemplo:

`TIME_ENG_0001_12_01_34.EXP`

corresponde a un fichero en unidades inglesas para el tiempo: 1 día, 12 horas, 1 minuto y 34 segundos.

El formato de estos ficheros se muestra a continuación. La primera línea indica el número de parámetros nodales (19 por defecto). A continuación, hay NNODES líneas con resultados para cada nodo en la malla de elementos triangulares:

Table 10.9 – Variables reportadas en los ficheros TIME_.EXP Output.

COLUMNA	VALOR	UNIDADES INGLESAS	UNIDADES MÉTRICAS
1	Número de nodo	-	-
2	Coordenada X del nodo	ft	m
3	Coordenada Y del nodo	ft	m
4	Componente X de la velocidad (U)	ft/s	m/s
5	Componente Y de la velocidad (V)	ft/s	m/s
6	Magnitud de la velocidad $\left\|\vec{U}\right\| = \sqrt{U^2+V^2}$	ft/s	m/s
7	Elevación de la superficie del agua	ft	m
8	Calado H	ft	m
9	Elevación inicial del fondo	ft	m
10	Elevación del fondo	ft	m
11	Cambios en la elevación del fondo desde tiempo=0	ft	m
12	Seco o mojado	Seco=1 / Mojado=0	Seco=1 / Mojado=0
13	Número de Froude	-	-
14	Caudal volumétrico de sedimento por unidad de anchura en dirección X: Q_{sx}	ft^2/s	m^2/s
15	Caudal volumétrico de sedimento por unidad de anchura en dirección Y: Q_{sy}	ft^2/s	m^2/s
16	Magnitud del caudal volumétrico de sedimento: $Q_s\sqrt{Q_{sx}^2+Q_{sy}^2}$	ft^2/s	m^2/s

Continued on next page

Table 10.9 – continued from previous page

COLUMNA	VALOR	UNIDADES INGLESAS	UNIDADES MÉTRICAS
17	Esfuerzo cortante con el fondo*: $\tau = \gamma H S_f = \gamma \left(Un/k\right)^2 / H^{1/3}$	lb/ft^2	Pa
18	Volumen de lluvia acumulada	ft^3	m^3
19	Volumen de infiltración acumulada	ft^3	m^3
20	Coeficiente n de Manning		-

Unidades inglesas: $= 62.4 lb/ft^3$, $k = 1.49$.
Unidades métricas: $= 9810 N/m^3$; $k = 1$, n = *coeficiente de Manning.*

A continuación, se muestra un ejemplo de un fichero ASCII `.EXP` típico:

19																			
1	522934.5	5258759	-0.48109	-0.14149	0.503769	0.999967	1.211967	-0.212	-0.212	0	0	0.146125	0	0	0	2.101571	1.066884	8.635435	0.03
2	522976	5258730	-0.24235	0.145426	0.556546	0.992053	0.103853	0.8882	0.8882	0	0	0.55148	0	0	0	5.817989	1.087993	6.233529	0.03
3	522998.2	5258685	0	0	0	-999	0	1.764567	1.764567	0	1	0	0	0	0	0	1.115509	1.115509	0.03
4	523020.3	5258640	0	0	0	-999	0	2.512567	2.512567	0	1	0	0	0	0	0	1.084248	1.084248	0.03
5	522890.2	5258782	-0.38871	-0.16848	0.423669	1.000264	2.16513	-1.16487	-1.16487	0	0	0.091944	0	0	0	1.225	1.211373	9.804941	0.03
6	522841.9	5258797	-0.332	-0.14048	0.360579	1	2.72415	-1.72415	-1.72415	0	0	0.069763	0	0	0	0.821931	1.187298	9.610075	0.03
7	522793.4	5258785	-0.30863	-0.10377	0.32607	1.000215	2.952448	-1.95223	-1.95223	0	0	0.060598	0	0	0	0.654345	1.079267	8.735666	0.03
8	523449.6	5258171	0	0	0	-999	0	21.08005	21.08005	0	1	0	0	0	0	0	0.923123	0.923123	0.03
9	522744.9	5258770	-0.28633	-0.06636	0.294408	1.000211	3.066077	-2.06587	-2.06587	0	0	0.053691	0	0	0	0.526766	1.031323	8.347601	0.03
10	523042.5	5258596	0	0	0	-999	0	3.5227	3.5227	0	1	0	0	0	0	0	1.080833	1.080833	0.03
11	523064.6	5258551	0	0	0	-999	0	4.4337	4.4337	0	1	0	0	0	0	0	1.074839	1.074839	0.03
12	523086.8	5258506	0	0	0	-999	0	5.3432	5.3432	0	1	0	0	0	0	0	1.045626	1.045626	0.03
13	523109	5258461	0	0	0	-999	0	6.714333	6.714333	0	1	0	0	0	0	0	1.047731	1.047731	0.03
14	523139.5	5258423	0	0	0	-999	0	8.776267	8.776267	0	1	0	0	0	0	0	1.07115	1.07115	0.03
15	522888.8	5258731	-0.30594	-0.14531	0.340768	0.999756	1.697789	-0.69803	-0.69803	0	0	0.083514	0	0	0	0.859412	1.126776	9.113662	0.03
16	522930.2	5258712	-0.20119	0.03197	0.377322	0.995429	0.791409	0.20402	0.20402	0	0	0.135441	0	0	0	1.358944	1.066487	8.628285	0.03
17	522953.1	5258674	0	0	0	-999	0	1.001733	1.001733	0	1	0	0	0	0	0	1.124586	5.284986	0.03
18	522977	5258630	0	0	0	-999	0	1.86185	1.86185	0	1	0	0	0	0	0	1.096724	1.457021	0.03
19	522999.3	5258585	0	0	0	-999	0	2.79365	2.79365	0	1	0	0	0	0	0	1.081976	1.081976	0.03
20	522838.5	5258748	-0.31319	-0.13932	0.343449	1.000582	2.482968	-1.48239	-1.48239	0	0	0.069601	0	0	0	0.769095	1.172116	9.481359	0.03
21	522787.5	5258742	-0.28445	-0.09156	0.299406	1.00073	2.82743	-1.8267	-1.8267	0	0	0.05686	0	0	0	0.559716	1.062548	8.596422	0.03

10.5.3 Ficheros de concentración de contaminantes

Estos ficheros ASCII contienen la información sobre los contaminantes. Estos ficheros usan la extensión `.EXP` y son nombrados como se muestra a continuación:

`CONC_DDDD_HH_MM_SS.EXP`

donde DDDD son los días, HH son las horas, MM son los minutos y SS los segundos. Por ejemplo:

`CONC_0001_12_01_34.EXP`

corresponde a un fichero en unidades inglesas para el tiempo: 1 día, 12 horas, 1 minuto y 34 segundos.

El formato de estos ficheros se muestra a continuación. La primera línea indica el número de solutos usados en la simulación con el módulo PL (NPOLLUTANTS_MAX). A continuación, hay NNODES líneas con resultados para cada nodo en la malla de elementos triangulares:

Table 10.10 – Variables reportadas en los ficheros CONC*.EXP.

COLUMNA	VALOR	UNIDADES
1	Número de nodo	-
2	Concentración para el soluto 1	El mismo que en las condiciones de contorno
3	Concentración para el soluto 2	El mismo que en las condiciones de contorno
...	...	...
5	Concentración para el soluto NPOLLUTANTS_MAX	El mismo que en las condiciones de contorno

A continuación, se muestra un ejemplo de un fichero ASCII `CONC*.EXP` típico:

```
3
1   0.000000   0.000000   0.000000
2   0.000000   0.000000   0.000000
3   0.000000   0.000000   0.000000
4   0.202378   0.000000   0.000000
5   0.326602   0.000000   0.000000
6   0.291721   0.000000   0.000000
7   0.000000   0.000000   0.000000
...
```

En este ejemplo, el fichero `CONC*.EXP` tiene 3 contaminantes.

10.5.4 Ficheros de concentración de sedimento en suspensión

Estos ficheros ASCII contienen las concentraciones de sedimento en suspensión. Estos ficheros usan la extensión `.EXP` y son nombrados como se muestra a continuación:

`ST_DDDD_HH_MM_SS.EXP`

donde DDDD son los días, HH son las horas, MM son los minutos y SS los segundos. Por ejemplo:

`ST_0001_12_01_34.EXP`

corresponde a un fichero en unidades inglesas para el tiempo: 1 día, 12 horas, 1 minuto y 34 segundos.

El formato de estos ficheros se muestra a continuación. La primera línea indica el número de fracciones de sedimento en suspensión usados en la simulación con el módulo ST (NSSNFRAC). A continuación, hay NNODES líneas con resultados para cada nodo en la malla de elementos triangulares:

Table 10.11 – Variables reportadas en los ficheros ST*.EXP. Estos ficheros solamente se generarán usando el botón de post-procesado *Plot **RiverFlow2D** results* en el panel *Graphic Output Options*.

COLUMNA	VALOR	UNIDADES
1	Número de nodo	-
2	Concentración por volumen para la fracción 1	Fracción de 1
3	Concentración por volumen para la fracción 2	Fracción de 1
...	...	...
5	Concentración por volumen para la fracción NSSNFRAC	Fracción de 1

A continuación, se muestra un ejemplo de un fichero ASCII `ST*.EXP` típico:

```
2
1   0.000000   0.000000
2   0.000000   0.000000
3   0.000000   0.000000
4   0.000000   0.000000
5   0.000000   0.000000
6   0.000000   0.000000
7   0.000000   0.000000
```

```
8       0.000000      0.000000
9       0.000287      0.000287
10      0.000456      0.000456
11      0.000356      0.000356
12      0.000334      0.000334
13      0.000000      0.000000
...
```

En este ejemplo, el fichero `ST*.EXP` tiene 2 fracciones de sedimento en suspensión.

10.5.5 Ficheros GIS de valor máximo

Estos ficheros ASCII reportan valores máximos de la magnitud de la velocidad, calado y nivel de agua y permiten una transferencia a un software GIS. Estos ficheros usan la extensión `.EXP` y son nombrados como se describe a continuación:

Para unidades inglesas: `<ProjectName>_ENG_MAX.EXP`
Para unidades métricas: `<ProjectName>_METRIC_MAX.EXP`

El formato de estos ficheros se muestra a continuación. La primera línea indica el número de parámetros nodales (5 por defecto). A continuación, hay NNODES líneas con resultados para cada nodo de la magnitud de la velocidad, calado y elevación del nivel de agua:

Table 10.12 – Variables reportadas en los ficheros <ProjectName>_ENG_MAX.EXP o <ProjectName>_METRIC_MAX.EXP.

COLUMNA	VALOR	UNIDADES INGLESAS	UNIDADES MÉTRICAS
1	Número de nodo	-	-
2	Coordenada X del nodo	ft	m
3	coordenada Y del nodo	ft	m
4	Magnitud de la valocidad máxima $\sqrt{U_x^2 + U_y^2}$	ft/s	m/s
5	Calado máximo	ft	m
6	Nivel de agua máximo	ft	m
7	Elevación del fondo máxima*	ft	m
8	Elevación del fondo mínima*	ft	m
9	Máxima profundidad de erosión mínima o máxima?*	ft	m
10	Máxima profundidad de deposición*	ft	m

**Salida cuando se usa la componente de transporte de sedimento.*

10.5.6 Fichero GIS "Time-to-Depth"

Este fichero ASCII se genera cuando se usa el botón *Plot RiverFlow2D results* en el panel *Graphic Output Options* del DIP de RiverFlow2D. El fichero reporta el tiempo para el cuál se alcanzan ciertos calados durante la simulación y permite la transferencia a un software GIS. En unidades métricas, el fichero incluye el timepo hasta 0.30 m de calado, el tiempo hasta 1 m y en tiempo hasta el máximo calado para cada nodo. En unidades inglesas, el fichero incluye el tiempo hasta 1 ft de calado, el tiempo hasta 3 ft y el tiempo hasta el máximo calado para cada nodo. El tiempo siempre viene expresado en horas. Los ficheros *time-to-depth* usan la extensión `.EXP` y tienen el

siguiente nombre:

`<ProjectName>_time2depths.exp`

El formato para estos ficheros se describe a continuación. La primera línea indica el número de parámetros nodales (3 por defecto). A continuación, hay NNODES lineas con el tiempo hasta 0.30 m (1 ft), el timepo hasta 1 m (3 ft) y el tiempo hasta el calado máximo para cada nodo, tal como se muestra en la Tabla 10.13. Cuando el nodo permanece seco o el calado es menor que 0.30 m (1 ft), el valor reportado es -1.

Table 10.13 – Variables reportadas en el fichero <ProjectName>_time2depths.exp.

COLUMNA	VALOR	UNIDADES
1	Número de nodo	-
2	Tiempo hasta 0.30 m (métricas) ó 1 ft. (inglesas)*	*hrs.*
3	Tiempo hasta 0.60 m (métricas) ó 2 ft. (inglesas)*	*hrs.*
4	Tiempo hasta 1 m (métricas) ó 3 ft. (inglesas)*	*hrs.*
5	Tiempo hasta el calado máximo*	*hrs.*

**Tiempo = -1 cuando el nodo está seco o el calado no alcanza 0.3 m (1 ft).*

10.5.7 Ficheros de apoyo para generar *ESRI Shapefiles*

Estos ficheros ASCII puedes ser importados en programas de tipo GIS.

Los ficheros con el campo de velocidades usan la extensión `.EXP` y se nombre como sigue:

`VelField_SF_TIME_DDDD_HH_MM_SS.EXP`

Los ficheros con la elevación de la superficie del agua usan la extensión `.EXP` y se nombre como sigue:

`WSE_SF_TIME_TIME_DDDD_HH_MM_SS.EXP`

donde DDDD son los días, HH las horas, MM los minutos y SS los segundos.

10.5.8 Ficheros de apoyo para generar mapas de riesgo USBR en formato *ESRI Shapefiles* (solamente para el post-procesado con Argus ONE)

Cuando se utiliza la salida apropiada para generar *shapefiles* en el panel *Graphic Output Options* del DIP de 2d, el programa crea el fichero `USBR_Hazard.EXP`, el cuál puede ser importado en un software GIS para generar mapas de riesgo basados en la clasificación de riesgos de la *United States Bureau of Reclamation (USBR), 1988*. El fichero `USBR_Hazard.EXP` tiene tantos polígonos como elementos inundados y contienen cinco atributos correspondientes al nivel de riesgos para casas, casas móviles, vehículos, adultos y niños. Los atributos pueden adquirir los valores de 1, 2 ó 3, dependiendo del nivel de riesgo:

Table 10.14 – Clasificación de riesgos de la USBR en el fichero `USBR\_Hazard.EXP`.

VALOR DEL ATRIBUTO	CLASIFICACIÓN DEL RIESGO
1	Zona de riesgo bajo
2	Zona de riesgo a evaluar
3	Zona de riesgo alto

Para más detalles sobre la clasificación del riesgos de la USBR, el usuario puede consultar la guía de usuario de RiverFlow2D y la referencia USBR (1988).

10.6 Ficheros de salida para el post-procesado con QGIS

10.6.1 Resultados generales en celdas para QGIS

Estos ficheros ASCII permiten la transferencia al sistema de información geográfica QGIS. Estos ficheros 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:

`CELL_TIME_ENG_0001_12_01_34.TEXTOUT`

corresponde a un fichero en unidades inglesas para el tiempo: 1 día, 12 horas, 1 minuto y 34 segundos.

El formato para estos ficheros se describe a continuación. La primera línea contiene el número de celdas (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:

Table 10.15 – Variables reportadas en los ficheros 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 $\left\|\vec{U}\right\| = \sqrt{U^2+V^2}$	ft/s	m/s
4	Elevación de la superficie del agua	ft	m
5	Calado 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^2/s	m^2/s

Continued on next page

Table 10.15 – continued from previous page

COLUMNA	VALOR	UNIDADES INGLESAS	UNIDADES MÉTRICAS
11	Caudal volumétrico de sedimento por unidad de anchura en dirección Y: Q_{sy}	ft^2/s	m^2/s
12	Magnitud del caudal volumétrico de sedimento: $Q_s\sqrt{Q_{sx}^2+Q_{sy}^2}$	ft^2/s	m^2/s
13	Esfuerzo cortante con el fondo*: $\tau=\gamma HS_f=\gamma\left(Un/k\right)^2/H^{1/3}$	lb/ft^2	Pa
14	Volumen de lluvia acumulada	ft^3	m^3
15	Volumen de infiltración acumulada	ft^3	m^3
16	Coeficiente n de Manning	-	-

**Unidades inglesas:* $= 62.4lb/ft^3$, $k = 1.49$.
**Unidades métricas:* $= 9810N/m^3$; $k = 1$, n = *coeficiente de Manning.*

10.6.2 Ficheros de QGIS de valores máximos en las celdas

Estos ficheros ASCII reportan los valores máximos del módulo de la velocidad, el calado y el nivel de agua y permiten la transferencia al programa QGIS. Estos ficheros usan la extensión `.TEXTOUT` y se nombran como sigue:

Para unidades inglesas: `<ProjectName>_CELLS_ENG_MAX.TEXTOUT`
Para unidades métricas: `<ProjectName>_CELLS_METRIC_MAX.TEXTOUT`

El formato para estos ficheros 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, el calado y el nivel de agua para cada celda, como se muestra a continuación:

Table 10.16 – Variables reportadas en los ficheros <ProjectName>_CELLS_ENG_MAX.TEXTOUT o <ProjectName>_CELLS_METRIC_MAX.TEXTOUT.

COLUMNA	VALOR	UNIDADES INGLESAS	UNIDADES MÉTRICAS
1	Magnitud de la velocidad máxima $\sqrt{U_x^2+U_y^2}$	ft/s	m/s
2	Calado máximo	ft	m
3	Nivel de agua máximo	ft	m
4	Calado máximo × velocidad	ft^2/s	m^2/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 sedimento.*

10.6.3 Fichero de QGIS "Time-to-Depth" en las celdas

Este fichero ASCII es generado cuando se usa el botón "Plot RiverFlow2D Results" en el panel *Graphic Output Option* de RiverFlow2D. El archivo reporta el tiempo para el cuál ciertos calados

son alcanzados durante la simulación y permite las transferencia al software QGIS. En unidades métricas, el archivo incluye el tiempo hasta los 0.30 m de calado, el tiempo hjas 1 m de calado y el tiempo hasta el calado máximo para cada celda. En unidades inglesas, el fichero incluye el timepo hasta alcanzar 1 ft de calado, el timepo hasta 2 ft y el tiempo hasta el calado máximo 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 ficheros 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 fichero 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 el calado máximo y el total inundated time para cada celda, tal como se muestra en la Tabla 10.17. Cuando la celda permanece seca o el calado está por debajo de 0.30 m, el valor reportado es -1. Para el fichero 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 el calado máximo y el total inundated time para cada celda, tal como se muestra en la Tabla 10.17. Cuando la celda permanece seca o el calado está por debajo de 1 ft, el valor reportado es -1.

Table 10.17 – Variables reportadas en el fichero <ProjectName>_TIME2DEPTHS_CELLS.TEXTOUT.

COLUMNA	VALOR	UNIDADES
1	Tiempo hasta 0.30 m (métricas) or 1 ft. (inglesas)*	*hrs.*
2	Tiempo hasta 0.50 m (métricas) or 2 ft. (inglesas)*	*hrs.*
3	Tiempo hasta 1 m (métricas) or 3 ft. (inglesas)*	*hrs.*
4	Tiempo hasta el calado máximo	*hrs.*
5	Total inundated time with depths $\geq$ 0.1 m	*hrs.*

**tiempo = -1 cuando la celda está seca o su calado no alcanza los 0.3 m (1 ft).*

10.6.4 Valores de intensidad de riesgo en ficheros de celdas de QGIS

Estos ficheros ASCII reportan los valores de intensidad de riesgo para varias clasificaciones de riesgos empleadas en diferentes países. Esto incluye la "'United State Bureau of Reclamation"', "'Swiss methods"' y los criterios empleados en Austria y UK. El fichero puede ser usado para generar mapas de riesgos en el software QGIS Geographic Information System. Estos ficheros usan la extensión `.TEXTOUT` y son nombrados como sigue:

`<ProjectName>_CELLS_HAZARD.TEXTOUT`

El formato de estos ficheros se describe a continuación. La primera linea indica el número de elementos (NELEM) y el número de parámetros de celda (11). A continuación, hay NELEM líneas con las intensidades de riesgo para cada celda:

Table 10.18 – Variables reportadas en el fichero <ProjectName>_CELLS_HAZARD.TEXTOUT.

COLUMNA	VALOR	ZONAS DE RIESGO
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/escombros	0, 1, 2, y 3
8	Método austriaco para inundaciones de ríos	0, 1, y 2
9	Método austriaco para torrentes Tr=100 yrs.	0, 1, y 2
10	Austrian Method for Torrents Tr=10 yrs.	0, 1, y 2
11	Método de UK	0, 1, 2, y 3

.

10.7 Ficheros de salida gráfica

10.7.1 Ficheros DXF

Estos ficheros contienen el campo de velocidades para cada intervalo de salida usando vectores coloreados en formato DXF de AutoCAD. El nombre del fichero tiene la forma: `VelField_TIME_DDDD_HH_MM_SS.DXF`.

10.7.2 Ficheros de salida GIF

Estos ficheros son salidas de tipo raster en formato `.GIF` y muestran la representación gráfica para cada intervalo de salida. Pueden ser importados en cualquier procesador de texto, hoja de cálculo o programas para presentaciones.

10.7.3 Ficheros de salida VTK

Los modelos RiverFlow2D Plus y RiverFlow2D Plus GPU escribirán ficheros de salida `.vtk`, que reportarán velocidades, calados, 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 ficheros pueden ser usados por software de terceros, incluyendo ParaView, para generar gráficos de alta calidad de los resultados de RiverFlow2D. ParaView (`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 procesado de ParaView.

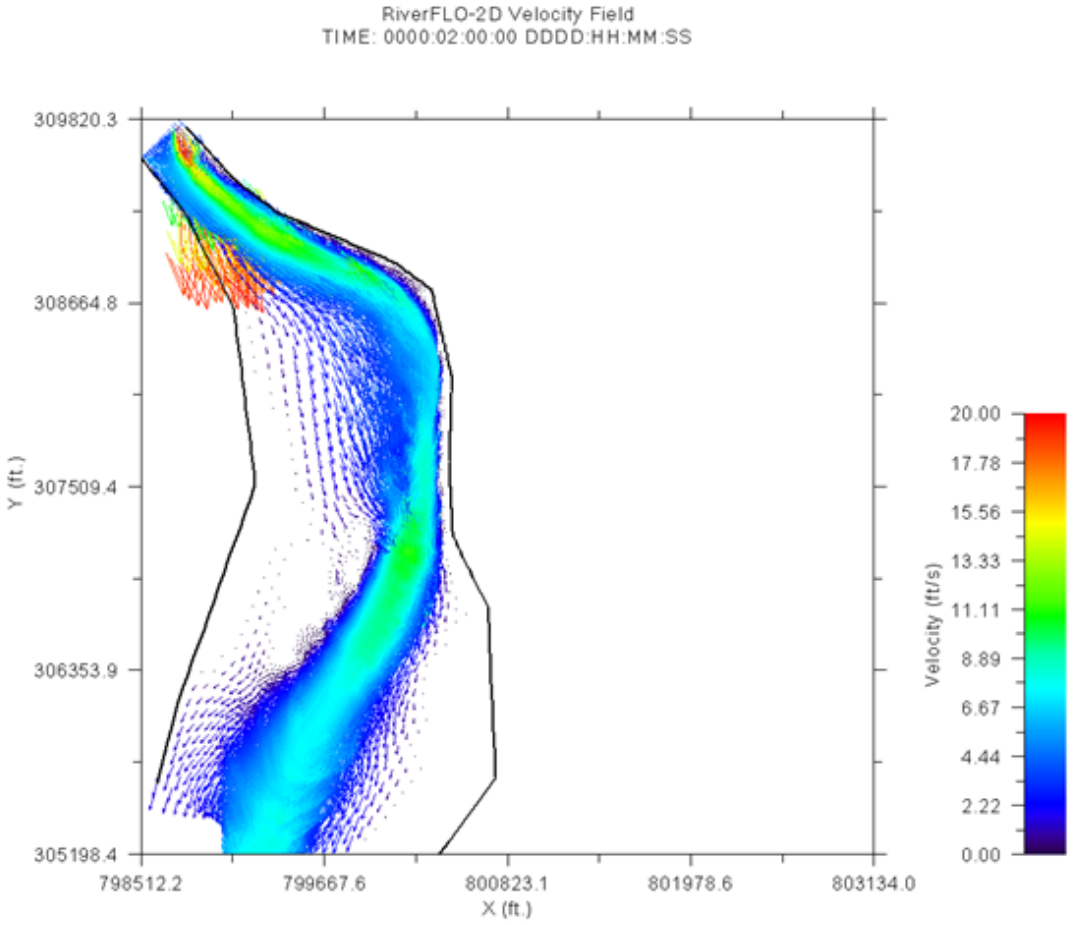


Figure 10.1 – Salida codificada por color de calado y vectores velocidad.

11 Herramientas del Programa de Entrada de Datos

Esta sección describe varias utilidades que se encuentran disponibles en el Programa de Entrada de Datos de RiverFlow2D (Data Input Program).

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 RiverFlow2D. 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 USACE. Estos datos de elevación pueden ser usados posteriormente en los pre-procesadores de RiverFlow2D 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 SMS. 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:

Table 11.1 – Archivos de HEC-RAS con información de las elevaciones.

NOMBRE DEL FICHERO	CONTENIDO
<nombre del fichero HEC-RAS>_ALL_STATIONS.EXP	Contains all elevation points in all cross sections in the for all reaches and cross sections in the *<HEC-RAS file name>.g0* file.
<nombre del fichero HEC-RAS>_ALL_POLY.EXP	Contains polygons that include all elevation points in each reach.
<nombre del fichero HEC-RAS>_CHANNEL_STATIONS.EXP	Contains only the elevation points between the left and right banks in all cross sections in the for all reaches in the *<HEC-RAS file name>.g0* file.

Continued on next page

Table 11.1 – continued from previous page

NOMBRE DEL FICHERO	CONTENIDO
<nombre del fichero HEC-RAS>_CHANNEL_POLY.EXP	Contains polygons that include only the elevation in the main channel for each reach.

La herramienta de extracción de datos de HEC-RAS es accesible desde el panel Herramientas del Programa de Entrada de Datos (Data Input Program).

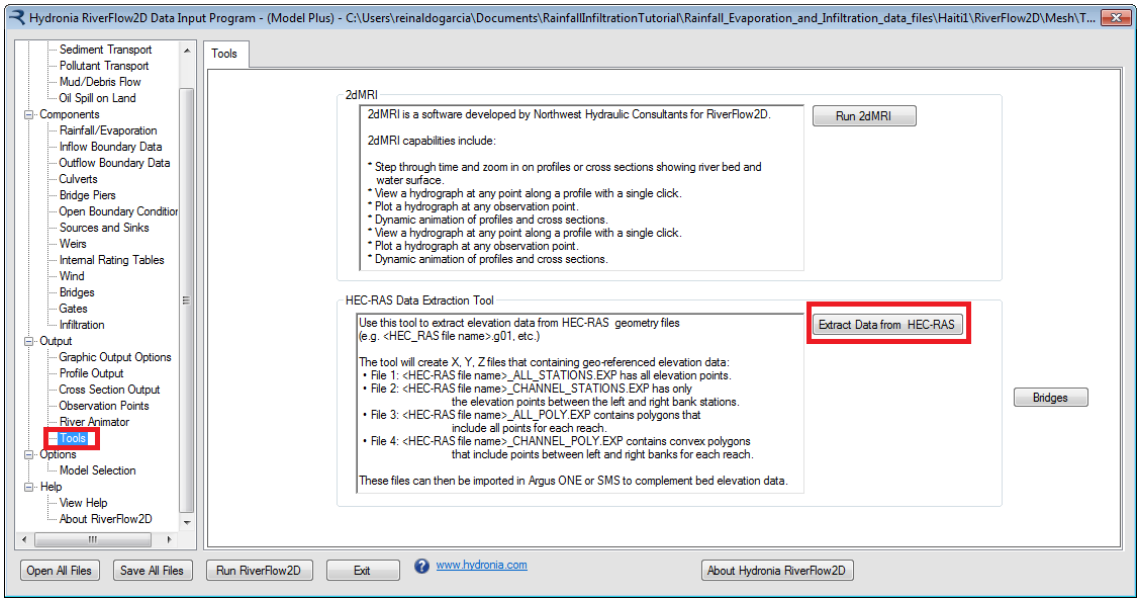


Figure 11.1 – Comando HEC-RAS en el panel de herramientas.

12 References

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.

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.

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.

Belleundy, P. (2000), 'Restoring flow capacity in the loire river bed', *Hydrological Processes* **14**, 2331–2344.

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.

Camenen, B. & Larson, M. (2005), 'A bedload sediment transport formula for the nearshore', *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **63**, 249–260.

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.

Cheng, N. (1997), 'Simplified settling velocity formula for sediment particle', *J. Hydraulic Eng., ASCE.* **123**(2), 149–152.

Cunge, J., Holly, F. & Vervey, A. (1980), *Practical Aspects of Computational River Hydraulics*, Pitman: London.

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.

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.

Fernandez-Luque, R. & van Beek, R. (1976), 'Erosion and transport of bed sediment', *Journal of Hydraulic Research, IAHR* **14**(2), 127–144.

FHWA (1978), Hydraulics of bridge waterways, Report EPD-86-101, FHWA (Federal Highway Administration).

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.

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.

Garde, R. & Ranga Raju, K. (1985), *Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems*, John Wiley & Sons, New York.

Godunov, S. (1959), 'A difference method for numerical calculation of discontinuous solutions of the equations of hydrodynamics', *Mat. Sb.* **47**, 271–306.

Gupta, R. S. (1995), *Hydrology and Hydraulic Systems*, Waveland Press.

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.

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., 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.

Karim, F. (1988), 'Bed material discharge prediction for non-uniform bed sediments', *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* **124**(6), 597–604.

LeVeque, R. (2002), *Finite-Volume Methods for Hyperbolic problems*, Cambridge University Press, New York.

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.

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. (2010*a*), 'An exner-based coupled model for two-dimensional transient flow over erodible bed', *Journal of Computational Physics* **229**(23), 8704–8732.

Murillo, J. & García-Navarro, P. (2010*b*), '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. & Burguete, J. (2008), '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. (2012), 'Wave riemann description of friction terms in unsteady shallow flows: Application to water and mud/debris floods', *Journal of Computational Physics* **231**, 1963–2001.

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.

Nielsen, P. (1992), *Coastal Bottom Boundary Layers and Sediment Transport*, Advanced Series on Ocean Engineering. World Scientific Publishing.

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.

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.

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.

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., 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.

Rubey, M. (1933), 'Settling velocities of gravel, sand and silt particles', *Amer. J. Soc.* **225**, 325–338.

Sha, Y. (1965), *Introduction to Sediment Dynamics*, Industry Press, 302-310.

Smart, G. (1984), 'Sediment transport formula for steep channels', *J. Hydr. Eng., ASCE.* **111**(3), 267–276.

Te Chow, V. (1959), *Open Channel Hydraulics*, McGraw-Hill, New York.

Te Chow, V., Maidment, D. & Mays, L. (1988), *Applied Hydrology*, McGraw-Hill Civil Engineering Series, MCGRAW-HILL Higher Education.

Toro, E. (2001), *Shock-Capturing Methods for Free-Surface Shallow Flows*, Wiley, New York, p. 109.

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).

USDA (2004), National engineering handbook part 630 hydrology, Technical report, United States Department of Agriculture (USDA).

Van Rijn, L. (1984*a*), 'Sediment pick-up functions', *J. Hydr. Eng., ASCE.* **110**(10), 1494–1502.

Van Rijn, L. (1984*b*), 'Sediment transport, part i: bed load transport', *J. Hydr. Eng., ASCE.* **110**(10), 1431–1456.

Van Rijn, L. (1984*c*), 'Sediment transport, part ii: suspended load transport', *J. Hydr. Eng., ASCE.* **110**(11), 1613–1641.

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.

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 müller using their own database', *Journal of Hydraulic Engineering* **132**(11), 1159–1168.

Wu, W. (2008), *Computational River Dynamics*, Taylor and Francis.

Wu, W. & Wang, S. (2006), 'Formulas for sediment porosity and settling velocity', *J. Hydraulic Eng., ASCE.* **132**(8), 858–862.

Yang, C. (1996), *Sediment Transport Theory and Practice*, McGraw Hill, New York.

Yarnell, D. (1934*a*), 'Bridge piers as channel obstructions', *U.S. Department of Agriculture, Tech. Bull.* **442**.

Yarnell, D. (1934*b*), '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.

Zhang, R. (1961), *River Dynamics (in Chinese)*, Industry Press.