

# RiverFlow2D Manual de Referencia del Motor

## Two-Dimensional Flood and River Dynamics Model

Reference Manual

agosto de 2026

Hydronia

OilFlow2D™ y RiverFlow2D™, modelos y documentacion producidos por Hydronia, LLC, Pembroke Pines, FL. USA.

La informacion contenida en este documento puede cambiar sin previo aviso y no representa un compromiso por parte de Hydronia, LLC. El software descrito en este documento se proporciona bajo un acuerdo de licencia.

RiverFlow2D, OilFlow2D, RiverFlow2D y RiverFlow2D GPU son marcas registradas por Hydronia, LLC. 2011-2026.

OilFlow2D™ y RiverFlow2D™ son marcas registradas de Hydronia, LLC.

Todos los demas productos o nombres de servicios mencionados aqui son marcas registradas de sus respectivos propietarios.

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicacion puede ser reproducida, almacenada en un sistema de recuperacion o transmitida en cualquier forma o por cualquier medio electronico, mecanico, fotocopia, grabacion u otros, sin el permiso previo por escrito de Hydronia, LLC.

Fecha de ultima modificacion del documento: agosto de 2026.

Soporte tecnico: [support@hydronia.com](mailto:support@hydronia.com)

Sitio web: [www.hydronia.com](http://www.hydronia.com)

# Contenido

|                                                                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Lista de Figuras</b>                                                                                              | <b>xi</b> |
| <b>1 Introducción</b>                                                                                                | <b>1</b>  |
| 1.1 Resumen de las características y capacidades de RiverFlow2D . . . . .                                            | 2         |
| 1.1.1 Generador de mallas . . . . .                                                                                  | 2         |
| 1.1.2 Motor numérico . . . . .                                                                                       | 3         |
| 1.1.3 Componentes hidráulicos . . . . .                                                                              | 3         |
| 1.1.4 Formatos de datos de entrada . . . . .                                                                         | 3         |
| 1.1.5 Condiciones iniciales . . . . .                                                                                | 4         |
| 1.1.6 Condiciones de contorno . . . . .                                                                              | 4         |
| 1.1.7 Opciones de salida . . . . .                                                                                   | 4         |
| 1.1.8 Salida de resultados para valores máximos . . . . .                                                            | 4         |
| 1.1.9 Salida para evaluaciones de peligrosidad . . . . .                                                             | 5         |
| 1.1.10 Módulo de drenaje urbano (UD) . . . . .                                                                       | 5         |
| 1.1.11 Módulo de transporte de sedimentos (ST) . . . . .                                                             | 5         |
| 1.1.12 Módulo de flujo de lodo y residuos mineros (MT) . . . . .                                                     | 5         |
| 1.1.13 Módulo de transporte de contaminantes (PL) . . . . .                                                          | 6         |
| 1.1.14 Módulo de calidad del agua (WQ) . . . . .                                                                     | 6         |
| <b>2 Instalación y activación de RiverFlow2D</b>                                                                     | <b>8</b>  |
| 2.1 Requisitos de hardware . . . . .                                                                                 | 8         |
| 2.2 Instalación del software . . . . .                                                                               | 8         |
| 2.3 Activación del software . . . . .                                                                                | 9         |
| 2.3.1 Activación de Standalone . . . . .                                                                             | 9         |
| 2.3.2 Instalación del servidor Network . . . . .                                                                     | 10        |
| 2.3.3 Instalación del cliente Network . . . . .                                                                      | 12        |
| 2.4 Habilitación de los complementos de Hydronia en QGIS . . . . .                                                   | 14        |
| 2.4.1 Habilitación del complemento RiverFlow2D (anterior a v10 o independiente) .                                    | 14        |
| 2.4.2 Habilitación del complemento OilFlow2D (anterior a v10 o independiente) .                                      | 15        |
| 2.4.3 Habilitación de macros en QGIS . . . . .                                                                       | 16        |
| 2.5 Solución de problemas . . . . .                                                                                  | 17        |
| 2.5.1 Cómo encontrar su clave de licencia . . . . .                                                                  | 17        |
| 2.5.2 Cómo saber quién utiliza el software en una instalación de red . . . . .                                       | 17        |
| 2.5.3 ERROR 641: "You have reached the limit on the maximum number of simultaneous users of this program." . . . . . | 18        |

|          |                                                                                                                       |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.5.4    | ERROR 659: "This program is configured for network installation only. It cannot be installed as a standalone system." | 18        |
| 2.5.5    | ERROR 660: "This program is configured for standalone installation only. It cannot be installed as a network system"  | 19        |
| 2.5.6    | ERROR 739: "This program has been installed or copied too many times."                                                | 19        |
| 2.6      | Documentación de RiverFlow2D                                                                                          | 19        |
| 2.7      | Soporte técnico de RiverFlow2D                                                                                        | 19        |
| 2.8      | Tutoriales de RiverFlow2D                                                                                             | 20        |
| <b>3</b> | <b>Descripción general de RiverFlow2D</b>                                                                             | <b>21</b> |
| <b>4</b> | <b>Generación de malla en RiverFlow2D</b>                                                                             | <b>25</b> |
| 4.1      | Control del tamaño de celda mediante el contorno del dominio                                                          | 26        |
| 4.2      | Control del tamaño de celda mediante polilíneas en la capa <i>MeshDensityLine</i>                                     | 27        |
| 4.3      | Control del tamaño de celda mediante polígonos en la capa <i>MeshDensityPolygon</i>                                   | 27        |
| 4.4      | Control del tamaño de celda mediante polilíneas en la capa <i>MeshBreakLine</i>                                       | 28        |
| 4.5      | Condiciones de contorno                                                                                               | 29        |
| 4.6      | Datos espaciales de la malla                                                                                          | 30        |
| 4.6.1    | n de Manning                                                                                                          | 30        |
| 4.7      | Funciones de la barra de herramientas de RiverFlow2D                                                                  | 32        |
| 4.7.1    | Nuevo proyecto de RiverFlow2D                                                                                         | 32        |
| 4.7.2    | Generar TriMesh                                                                                                       | 33        |
| 4.7.3    | Exportar archivos para RiverFlow2D                                                                                    | 34        |
| 4.7.4    | Mapas                                                                                                                 | 34        |
| 4.7.5    | Animaciones                                                                                                           | 34        |
| 4.7.6    | Secciones transversales                                                                                               | 34        |
| 4.7.7    | Herramientas                                                                                                          | 34        |
| <b>5</b> | <b>Modelo hidrodinámico</b>                                                                                           | <b>38</b> |
| 5.1      | Supuestos del modelo hidrodinámico                                                                                    | 38        |
| 5.2      | Ecuaciones del flujo considerando variaciones de temperatura prescritas                                               | 39        |
| 5.3      | Solución numérica de volúmenes finitos                                                                                | 40        |
| 5.3.1    | Optimizaciones numéricas                                                                                              | 43        |
| 5.3.2    | Región de estabilidad                                                                                                 | 44        |
| 5.4      | Condiciones de contorno abiertas                                                                                      | 44        |
| 5.4.1    | Tipos de condiciones de contorno de variable única (BCTYPE 1 y 6)                                                     | 46        |
| 5.4.2    | Tabla de clasificación de caudales (BCTYPE 9)                                                                         | 47        |
| 5.4.3    | Contornos abiertos "Free" (BCTYPE 10, 11)                                                                             | 48        |
| 5.4.4    | Condición de contorno Uniform Flow (BCTYPE 12)                                                                        | 48        |
| 5.4.5    | Implementación numérica de los contornos abiertos                                                                     | 48        |
| 5.4.6    | Contornos cerrados                                                                                                    | 54        |
| 5.5      | Modelado de celdas secas/mojadas                                                                                      | 55        |
| 5.5.1    | Definiciones de celdas basadas en condiciones secas y mojadas                                                         | 55        |
| 5.6      | Conservación de volumen                                                                                               | 56        |
| 5.7      | Coeficientes de rugosidad n de Manning                                                                                | 57        |



|           |                                                                                                         |            |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>6</b>  | <b>Módulo de transporte de sedimentos: ST</b>                                                           | <b>58</b>  |
| 6.1       | Ecuaciones del modelo                                                                                   | 58         |
| 6.2       | Leyes de transporte de sedimentos                                                                       | 60         |
| 6.2.1     | Transporte por arrastre de fondo                                                                        | 61         |
| 6.2.2     | Transporte de sedimentos en suspensión                                                                  | 62         |
| 6.2.3     | Fórmulas de transporte en suspensión de capacidad                                                       | 64         |
| 6.2.4     | Composición de la capa activa                                                                           | 65         |
| 6.3       | Condiciones de contorno para el modelo de sedimentos en suspensión                                      | 66         |
| 6.4       | Condiciones de contorno para el modelo de arrastre de fondo                                             | 66         |
| 6.4.1     | Proporcionar únicamente el caudal de entrada de agua                                                    | 66         |
| 6.4.2     | Entrada de caudal de agua y sedimentos                                                                  | 67         |
| 6.5       | Condiciones de contorno para el modelo combinado de arrastre de fondo y transporte en suspensión        | 67         |
| 6.6       | Solución numérica de volumen finito del transporte de sedimentos                                        | 68         |
| 6.7       | Introducción de datos para el modelo de transporte de sedimentos en el DIP                              | 69         |
| 6.8       | Supuestos y consideraciones del modelo de transporte de sedimentos                                      | 69         |
| <b>7</b>  | <b>Modelo de flujo de lodos y relaves: MT</b>                                                           | <b>71</b>  |
| 7.1       | Modelo de flujo de lodo <i>Constant-Properties Fixed-Bed</i> (CP-FB)                                    | 71         |
| 7.2       | Modelo de flujo bifásico <i>Variable-Properties Movable-Bed</i> (VP-MB)                                 | 72         |
| 7.2.1     | Modelo conservativo del material del lecho para depósitos multigrano                                    | 75         |
| 7.2.2     | Solución numérica de volumen finito para flujos compresibles                                            | 76         |
| 7.3       | Formulación reológica y resistencia basal no newtoniana                                                 | 77         |
| 7.3.1     | Viscosidad y esfuerzo de fluencia variables en el modelo de flujo bifásico VP-MB                        | 83         |
| 7.4       | Condiciones de contorno para el modelo de flujo bifásico <i>Variable-Properties Movable-Bed</i> (VP-MB) | 83         |
| 7.5       | Introducción de datos para el modelo de flujo de lodos y relaves                                        | 84         |
| <b>8</b>  | <b>Modelo de drenaje urbano: UD</b>                                                                     | <b>86</b>  |
| 8.1       | Modelo de flujo en tuberías 1D                                                                          | 87         |
| 8.2       | Intercambio de agua entre los modelos RiverFlow2D y SWMM                                                | 87         |
| 8.3       | Herramienta de azoteas                                                                                  | 88         |
| <b>9</b>  | <b>Modelo de transporte de contaminantes: PL</b>                                                        | <b>91</b>  |
| 9.1       | Ecuaciones del modelo                                                                                   | 91         |
| 9.2       | Solución numérica del transporte de contaminantes mediante volúmenes finitos                            | 92         |
| 9.3       | Introducción de datos para el modelo de transporte de contaminantes                                     | 94         |
| 9.4       | Supuestos del modelo de transporte de contaminantes                                                     | 95         |
| <b>10</b> | <b>Modelo de calidad del agua: módulo WQ</b>                                                            | <b>96</b>  |
| 10.1      | Ecuaciones de las variables de estado hidrodinámicas y de calidad del agua                              | 99         |
| <b>11</b> | <b>Socavación en puentes</b>                                                                            | <b>101</b> |
| 11.1      | Método HEC-18 para la socavación de pilas                                                               | 101        |
| 11.2      | Socavación de pilas en material de lecho grueso                                                         | 102        |
| 11.3      | Socavación de pilas en materiales cohesivos                                                             | 102        |

|           |                                                                                                               |            |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 11.4      | Ancho superior e inferior de los hoyos de socavación de pilas . . . . .                                       | 102        |
| 11.5      | Socavación de estribos . . . . .                                                                              | 102        |
| 11.5.1    | Factor de amplificación de la socavación para estribos de paso abierto y condiciones de lecho móvil . . . . . | 103        |
| 11.5.2    | Factor de amplificación de la socavación para estribos con aletas y condiciones de lecho móvil . . . . .      | 104        |
| 11.5.3    | Factor de amplificación de la socavación para estribos de paso abierto y condiciones de agua clara . . . . .  | 104        |
| 11.5.4    | Factor de amplificación de la socavación para estribos con aletas y condiciones de agua clara . . . . .       | 104        |
| <b>12</b> | <b>Paralelización del código</b>                                                                              | <b>105</b> |
| 12.1      | CPU de RiverFlow2D . . . . .                                                                                  | 105        |
| 12.2      | GPU de RiverFlow2D . . . . .                                                                                  | 106        |
| <b>13</b> | <b>Componentes hidráulicos e hidrológicos</b>                                                                 | <b>108</b> |
| 13.1      | Componente Bridges . . . . .                                                                                  | 109        |
| 13.1.1    | Archivo de datos de geometría del puente . . . . .                                                            | 110        |
| 13.1.2    | Cálculos de puentes . . . . .                                                                                 | 112        |
| 13.2      | Pilas de puente . . . . .                                                                                     | 116        |
| 13.2.1    | Cálculo de pilas de puente . . . . .                                                                          | 117        |
| 13.3      | Componente Culverts . . . . .                                                                                 | 119        |
| 13.3.1    | Cálculo de alcantarillas mediante una tabla de aforo (CulvertType = 0) . . . .                                | 120        |
| 13.3.2    | Cálculo de alcantarillas mediante las características de la alcantarilla (CulvertType = 1,2) . . . . .        | 120        |
| 13.3.3    | Supuestos de los cálculos del alcantarillado . . . . .                                                        | 126        |
| 13.3.4    | Herramienta de intercambio de volumen entre múltiples celdas de alcantarillado en QGIS . . . . .              | 126        |
| 13.4      | Componente Gates . . . . .                                                                                    | 128        |
| 13.4.1    | Cálculos de compuertas . . . . .                                                                              | 130        |
| 13.5      | Precipitación y evaporación . . . . .                                                                         | 131        |
| 13.6      | Infiltración . . . . .                                                                                        | 132        |
| 13.6.1    | Modelo de infiltración de Horton . . . . .                                                                    | 132        |
| 13.6.2    | Modelo de infiltración de Green-Ampt . . . . .                                                                | 134        |
| 13.6.3    | Modelo SCS-CN . . . . .                                                                                       | 135        |
| 13.7      | Componente del viento . . . . .                                                                               | 137        |
| 13.8      | Tablas de clasificación internas . . . . .                                                                    | 138        |
| 13.8.1    | Cálculos de tablas de clasificación internas . . . . .                                                        | 139        |
| 13.8.2    | Supuestos de los cálculos de tablas de clasificación internas . . . . .                                       | 139        |
| 13.9      | Vertederos . . . . .                                                                                          | 140        |
| 13.9.1    | Cálculos de vertederos . . . . .                                                                              | 141        |
| 13.9.2    | Supuestos de los cálculos del vertedero . . . . .                                                             | 142        |
| 13.10     | Modelado de rotura de presas . . . . .                                                                        | 142        |
| 13.10.1   | Rotura prescrita de presa . . . . .                                                                           | 142        |
| 13.10.2   | Fallo de rotura de presa por erosión interna . . . . .                                                        | 143        |

|           |                                                                                                                 |            |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 13.11     | Caudal a través de la sección transversal de la tubería . . . . .                                               | 143        |
| 13.12     | Erosión de la tubería . . . . .                                                                                 | 144        |
| 13.13     | Erosión por sobrevertido . . . . .                                                                              | 146        |
| 13.14     | Flujo de rotura de presa como condición de contorno interna . . . . .                                           | 146        |
| <b>14</b> | <b>Programa de entrada de datos de Hydronia (DIP)</b>                                                           | <b>149</b> |
| 14.1      | Panel de Control Data (archivo .DAT) . . . . .                                                                  | 150        |
| 14.2      | Panel de transporte de sedimentos (archivos .SEDS y .SEDB) . . . . .                                            | 154        |
| 14.3      | Panel de Urban Drainage EPA-SWMM (archivo .LSWMM) . . . . .                                                     | 157        |
| 14.4      | Panel de Mud and Tailings Flow Data (archivo .MUD) . . . . .                                                    | 158        |
| 14.4.1    | Archivos de datos opcionales de viscosidad o esfuerzo de fluencia . . . . .                                     | 161        |
| 14.5      | Panel de Pollutant Transport (.SOLUTES) . . . . .                                                               | 162        |
| 14.6      | Pestaña Graphic Output Options (archivo .PLT) . . . . .                                                         | 162        |
| 14.7      | Panel de Profile Output (archivo .PROFILES) . . . . .                                                           | 164        |
| 14.8      | Panel de Cross Section Output (archivo .XSECS) . . . . .                                                        | 165        |
| 14.9      | Panel de Culverts (archivo .CULVERTS) . . . . .                                                                 | 166        |
| 14.10     | Panel de Internal Rating Tables (archivo .IRT) . . . . .                                                        | 168        |
| 14.11     | Panel de Weirs (archivo .WEIRS) . . . . .                                                                       | 169        |
| 14.12     | Panel de Sources/Sinks (archivo .SOURCES) . . . . .                                                             | 169        |
| 14.13     | Panel de Bridge Scour (archivo .SCOUR) . . . . .                                                                | 170        |
| 14.14     | Panel de Bridge Piers (archivo .PIERS) . . . . .                                                                | 172        |
| 14.15     | Panel de <i>Observation Points</i> (archivo .OBS) . . . . .                                                     | 173        |
| 14.16     | Panel de <i>Tools</i> . . . . .                                                                                 | 174        |
| 14.16.1   | Herramienta para procesar datos de lluvia y evaporación de archivos ASCII<br>Grid Files . . . . .               | 175        |
| 14.16.2   | Herramienta de extracción de datos de HEC-RAS . . . . .                                                         | 176        |
| <b>15</b> | <b>Referencia del archivo de datos</b>                                                                          | <b>178</b> |
| 15.1      | Datos de control de la ejecución . . . . .                                                                      | 181        |
| 15.1.1    | Archivo de datos de control de la ejecución: .DAT . . . . .                                                     | 181        |
| 15.2      | Datos de la malla . . . . .                                                                                     | 188        |
| 15.2.1    | Archivo de datos de la malla: .FED . . . . .                                                                    | 188        |
| 15.2.2    | Archivos de datos de condiciones de contorno abiertas: .IFL y .OBCP . . . . .                                   | 189        |
| 15.2.3    | Archivo de datos del límite de la malla: .TBA . . . . .                                                         | 194        |
| 15.3      | Puentes . . . . .                                                                                               | 195        |
| 15.3.1    | Archivo de datos de puentes: .BRIDGES . . . . .                                                                 | 195        |
| 15.3.2    | Archivo de datos de geometría de la sección transversal del puente . . . . .                                    | 196        |
| 15.4      | Archivo de datos de alcantarillas: .CULVERTS . . . . .                                                          | 198        |
| 15.4.1    | Ejemplo de un archivo .CULVERTS . . . . .                                                                       | 198        |
| 15.4.2    | Archivos de datos de la tabla de clasificación profundidad-caudal de alcantarillas para CulvertType=0 . . . . . | 199        |
| 15.4.3    | Archivos de datos de características de alcantarillas para CulvertType = 1, 2 . . . . .                         | 200        |
| 15.4.4    | Ejemplo del archivo de datos de características de una alcantarilla . . . . .                                   | 200        |
| 15.4.5    | Comentarios para los archivos .CULVERTS y de características de las alcantarillas . . . . .                     | 205        |

|         |                                                                                                  |     |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 15.5    | Archivo de datos de rotura de presa: .DAMBREACH . . . . .                                        | 206 |
| 15.5.1  | Ejemplo de un archivo .DAMBREACH . . . . .                                                       | 206 |
| 15.5.2  | Archivo de datos de evolución temporal de la brecha para el modo de fallo<br>prescrito . . . . . | 208 |
| 15.5.3  | Comentarios sobre el archivo .DAMBREACH . . . . .                                                | 208 |
| 15.6    | Archivos de datos de compuertas: .GATES . . . . .                                                | 208 |
| 15.6.1  | Ejemplo de un archivo .GATES . . . . .                                                           | 209 |
| 15.6.2  | Archivo de serie temporal de apertura de la compuerta . . . . .                                  | 209 |
| 15.6.3  | Ejemplo de un archivo de datos de apertura de compuerta . . . . .                                | 210 |
| 15.7    | Archivo de datos de tabla de gasto interna: .IRT . . . . .                                       | 210 |
| 15.7.1  | Ejemplo de un archivo .IRT . . . . .                                                             | 210 |
| 15.7.2  | Comentarios del archivo .IRT . . . . .                                                           | 211 |
| 15.8    | Archivo de datos de precipitación y evaporación: .LRAIN . . . . .                                | 211 |
| 15.8.1  | Comentarios del archivo .LRAIN . . . . .                                                         | 212 |
| 15.8.2  | Ejemplo de un archivo de datos del hietograma y de evaporación . . . . .                         | 212 |
| 15.8.3  | Comentarios del archivo de datos del hietograma y de evaporación . . . . .                       | 213 |
| 15.9    | Archivo de datos de infiltración: .LINF . . . . .                                                | 213 |
| 15.9.1  | Ejemplo de un archivo .LINF . . . . .                                                            | 213 |
| 15.9.2  | Comentarios del archivo .LINF . . . . .                                                          | 214 |
| 15.9.3  | Ejemplo de un archivo de datos de parámetros de infiltración . . . . .                           | 214 |
| 15.10   | Archivo de datos de n de Manning variable con la profundidad: .MANNN . . . . .                   | 215 |
| 15.10.1 | Comentarios para el archivo .MANNN . . . . .                                                     | 216 |
| 15.10.2 | Ejemplo de un archivo de datos de la variable n de Manning con la profundidad . . . . .          | 216 |
| 15.10.3 | Comentarios para el archivo de datos de la variable n de Manning con la<br>profundidad . . . . . | 216 |
| 15.10.4 | Archivo de fuerzas de arrastre de pilas de puente: .PIERS . . . . .                              | 217 |
| 15.11   | Archivo de datos de pilas de puente y socavación: .SCOUR . . . . .                               | 219 |
| 15.11.1 | Ejemplo de un archivo .SCOUR . . . . .                                                           | 219 |
| 15.11.2 | Comentarios para el archivo .SCOUR . . . . .                                                     | 221 |
| 15.12   | Archivo de datos de fuentes y sumideros: .SOURCES . . . . .                                      | 221 |
| 15.12.1 | Ejemplo de un archivo .SOURCES . . . . .                                                         | 221 |
| 15.12.2 | Comentarios para el archivo .SOURCES . . . . .                                                   | 222 |
| 15.13   | Archivo de fuentes múltiples . . . . .                                                           | 222 |
| 15.13.1 | Ejemplo de un archivo de fuentes múltiples . . . . .                                             | 222 |
| 15.14   | Archivos de datos de vertederos: .WEIRS y .WEIRP . . . . .                                       | 223 |
| 15.14.1 | Ejemplo de un archivo .WEIRS . . . . .                                                           | 224 |
| 15.14.2 | Ejemplo de un archivo .WEIRP . . . . .                                                           | 224 |
| 15.14.3 | Comentarios para el archivo .WEIRS . . . . .                                                     | 225 |
| 15.15   | Archivo de datos de viento: .WIND . . . . .                                                      | 226 |
| 15.15.1 | Ejemplo de un archivo . . . . .                                                                  | 226 |
| 15.15.2 | Comentarios para el archivo . . . . .                                                            | 227 |
| 15.15.3 | Archivo de datos de velocidad del viento . . . . .                                               | 227 |
| 15.15.4 | Ejemplo de un archivo de velocidad y datos del viento . . . . .                                  | 227 |
| 15.16   | Archivo de datos de barreras de contención de petróleo: .BOOMS . . . . .                         | 227 |

|                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 15.16.1Ejemplo de un archivo .BOOMS . . . . .                                                                                 | 228 |
| 15.17Archivo de datos de flujo de lodo y relaves: .MUD . . . . .                                                              | 229 |
| 15.17.1Ejemplo de un archivo .MUD . . . . .                                                                                   | 230 |
| 15.17.2Archivos de datos opcionales de viscosidad o esfuerzo de fluencia . . . . .                                            | 233 |
| 15.17.3Archivo de datos de concentración inicial del módulo Mud and Tailings: .CINI-<br>TIAL . . . . .                        | 234 |
| 15.17.4Archivo de datos de fracciones iniciales del lecho: .FBINITIAL . . . . .                                               | 235 |
| 15.17.5Archivo de datos de condiciones hidráulicas iniciales del módulo Mud and<br>Tailings: .INITIALSTATE . . . . .          | 236 |
| 15.18Archivo del modelo Oil on Land: .OILP . . . . .                                                                          | 236 |
| 15.18.1Ejemplo de un archivo .OILP . . . . .                                                                                  | 237 |
| 15.18.2Archivo de tabla de temperatura-viscosidad-densidad . . . . .                                                          | 242 |
| 15.18.3Archivo de series temporales de temperatura frente a densidad . . . . .                                                | 242 |
| 15.18.4Archivo de series temporales de temperatura frente a viscosidad . . . . .                                              | 242 |
| 15.18.5Archivo de series temporales de temperatura frente a esfuerzo de fluencia . . . . .                                    | 243 |
| 15.18.6Archivo de series temporales de parámetros ambientales . . . . .                                                       | 243 |
| 15.18.7Archivo de datos de profundidad de retención de aceite: .DETENINITIAL . . . . .                                        | 244 |
| 15.19Archivo de aceite sobre agua: .OILW . . . . .                                                                            | 244 |
| 15.19.1Ejemplo de un archivo .OILW . . . . .                                                                                  | 249 |
| 15.19.2Archivo de entrada de volumen acumulado . . . . .                                                                      | 252 |
| 15.19.3Ejemplo de un archivo de volumen acumulado . . . . .                                                                   | 252 |
| 15.19.4Archivo de liberación del derrame . . . . .                                                                            | 252 |
| 15.19.5Ejemplo de un archivo de liberación del derrame . . . . .                                                              | 252 |
| 15.20Archivo de datos del módulo de transporte de contaminantes: .SOLUTES . . . . .                                           | 253 |
| 15.20.1Ejemplo de un archivo .SOLUTES . . . . .                                                                               | 253 |
| 15.20.2Archivo de datos de concentración inicial del módulo de transporte de con-<br>taminantes: .CINITIAL . . . . .          | 254 |
| 15.21Archivos de datos de transporte de sedimentos: .SEDS y .SEDB . . . . .                                                   | 254 |
| 15.21.1Archivo .SEDS para datos de sedimentos en suspensión . . . . .                                                         | 254 |
| 15.21.2Archivo .SEDB para datos de transporte de carga de fondo . . . . .                                                     | 256 |
| 15.21.3Archivo de datos de las fracciones iniciales del lecho del módulo de transporte<br>de sedimentos: .FBINITIAL . . . . . | 258 |
| 15.22Archivo de datos del módulo de drenaje urbano: .LSWMM . . . . .                                                          | 259 |
| 15.22.1Ejemplo de un archivo .LSWMM . . . . .                                                                                 | 259 |
| 15.22.2Archivos de datos de profundidad-descarga . . . . .                                                                    | 260 |
| 15.23Datos de control de salida . . . . .                                                                                     | 261 |
| 15.23.1Archivo de datos de puntos de observación: .OBS . . . . .                                                              | 261 |
| 15.23.2Archivo de datos de control de salida gráfica: .PLT . . . . .                                                          | 261 |
| 15.23.3Datos para la salida de resultados de perfiles: .PROFILES . . . . .                                                    | 265 |
| 15.23.4Datos de secciones transversales para el archivo de salida de resultados:<br>.XSECS . . . . .                          | 265 |
| 15.24Datos de elevación . . . . .                                                                                             | 266 |
| 15.24.1Datos X Y Z con encabezado . . . . .                                                                                   | 266 |
| 15.25Archivos de datos de condiciones de contorno . . . . .                                                                   | 267 |

|           |                                                                                                                                       |            |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 15.25.1   | Archivos de condiciones de contorno de una variable                                                                                   | 267        |
| 15.25.2   | Archivos de condición de contorno de dos variables                                                                                    | 268        |
| 15.25.3   | Archivos de condición de contorno de múltiples variables                                                                              | 269        |
| 15.25.4   | Archivos de datos de nivel-descarga                                                                                                   | 269        |
| 15.25.5   | Archivos de datos de profundidad-descarga de alcantarilla                                                                             | 270        |
| <b>16</b> | <b>Referencia de archivos de salida</b>                                                                                               | <b>272</b> |
| 16.1      | Descripción general de los archivos de salida                                                                                         | 272        |
| 16.1.1    | Archivos esenciales necesarios para generar mapas, gráficos y animaciones                                                             | 275        |
| 16.2      | Archivos de salida generales                                                                                                          | 276        |
| 16.2.1    | Archivo de tiempos de salida .outfiles                                                                                                | 276        |
| 16.2.2    | Tiempos de salida para el modelo de derrame de petróleo sobre agua .out-filesoilw                                                     | 276        |
| 16.2.3    | Resumen de opciones de ejecución .outi y .oute archivos                                                                               | 276        |
| 16.2.4    | Datos de la malla y métricas de la malla .meshouti y .meshoute archivos                                                               | 278        |
| 16.2.5    | Archivo de resumen de ejecución .rout                                                                                                 | 281        |
| 16.2.6    | Tabla de valores máximos .maxi y .maxe Archivos                                                                                       | 281        |
| 16.2.7    | Salida de puntos de observación                                                                                                       | 283        |
| 16.2.8    | Archivo 2binitialized.hotstart de inicio en caliente (versión 10, 2026)                                                               | 284        |
| 16.2.9    | Establecimiento de condiciones iniciales más complejas mediante el archivo .INITIALSTATE [Disponible solo para el módulo MT]          | 285        |
| 16.2.10   | Archivo de salida del balance de masas                                                                                                | 285        |
| 16.3      | Archivos de salida de componentes                                                                                                     | 287        |
| 16.3.1    | Archivo de salida de Booms .OUTBOOMS                                                                                                  | 287        |
| 16.3.2    | Archivos de salida de alcantarillas CULVERT_culvertID.out                                                                             | 287        |
| 16.3.3    | Archivos de tablas de clasificación internas IRT_irtID.out                                                                            | 288        |
| 16.3.4    | Archivos de salida de vertederos .weiri y .weire                                                                                      | 288        |
| 16.4      | Archivos de salida de secciones transversales y perfiles                                                                              | 289        |
| 16.4.1    | Archivos generales de secciones transversales .xseci y .xsece                                                                         | 289        |
| 16.4.2    | Archivos de hidrogramas de secciones transversales .xsech y .xsecsed                                                                  | 290        |
| 16.4.3    | Archivos de perfiles .prfi y .prfe                                                                                                    | 291        |
| 16.5      | Archivos de salida para posprocesamiento en QGIS                                                                                      | 292        |
| 16.5.1    | Resultados generales en las celdas                                                                                                    | 292        |
| 16.5.2    | Archivos de concentración de derrames de petróleo en tierra considerando la transferencia de calor (módulo OilFlow2D Overland Spills) | 293        |
| 16.5.3    | Archivos de concentración de contaminantes (módulo PL)                                                                                | 294        |
| 16.5.4    | Archivos de concentración de sedimentos y fracción del lecho (módulo ST)                                                              | 294        |
| 16.5.5    | Archivos de concentración y propiedades de lodos y relaves (módulo MT)                                                                | 295        |
| 16.5.6    | Archivos de salida de petróleo y plásticos (módulos OilFlow2D Spills On Water y Plastics)                                             | 296        |
| 16.5.7    | Archivos de valores máximos                                                                                                           | 300        |
| 16.5.8    | Archivo de salida de tiempo hasta la profundidad en las celdas                                                                        | 300        |
| 16.5.9    | Archivo de salida de valores de intensidad del peligro en las celdas                                                                  | 301        |
| 16.6      | Archivos de salida VTK para Paraview                                                                                                  | 302        |

|                                                                                                                |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>17 Herramientas de RiverFlow2D</b>                                                                          | <b>303</b> |
| 17.1 Ejecución automatizada por lotes de simulaciones del modelo . . . . .                                     | 303        |
| 17.1.1 Uso de un script de MS-DOS para ejecutar varias simulaciones por lotes . .                              | 303        |
| 17.1.2 Uso de un script de Python dentro de QGIS para ejecutar varias simulaciones<br>por lotes . . . . .      | 304        |
| 17.1.3 Uso de un script de Python mediante un archivo por lotes para ejecutar varias<br>simulaciones . . . . . | 304        |

# Lista de Figuras

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1  | Malla de celdas triangulares de RiverFlow2D. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2  |
| 1.2  | Gráfico que muestra las elevaciones de la superficie del agua calculadas con River-Flow2D. . . . .                                                                                                                                                                                                                           | 7  |
| 2.1  | Ventana de complementos de QGIS que muestra Hydronia2DMS instalado para la versión 10 y posteriores. . . . .                                                                                                                                                                                                                 | 14 |
| 2.2  | Ubicación de la carpeta de documentación de RiverFlow2D. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                             | 19 |
| 3.1  | Capas estándar creadas al usar el comando New RiverFlow2D Project. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                   | 21 |
| 4.1  | Malla flexible típica de RiverFlow2D. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                | 25 |
| 4.2  | Diálogo de <i>CellSize</i> . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 26 |
| 4.3  | Malla generada a partir de un polígono externo con <i>CellSize</i> = 50ft , y un polígono interno con <i>CellSize</i> = 10ft, ambos introducidos en la capa <i>Domain Outline</i> . . . . .                                                                                                                                  | 26 |
| 4.4  | Malla generada a partir de los polígonos de la Figura al añadir las dos polilíneas en la capa <i>MeshDensityLine</i> . . . . .                                                                                                                                                                                               | 27 |
| 4.5  | Malla generada a partir del polígono de la capa <i>MeshDensityPolygon</i> . . . . .                                                                                                                                                                                                                                          | 28 |
| 4.6  | Malla generada a partir de los polígonos y polilíneas de la Figura al añadir la polilínea en la capa <i>MeshBreakLine</i> . Observe que, a diferencia de la capa <i>MeshDensityLine</i> , las polilíneas introducidas en la capa <i>MeshBreakLine</i> obligan a la malla a tener nodos a lo largo de las polilíneas. . . . . | 28 |
| 4.7  | Panel de capas de QGIS con la capa <i>Boundary Conditions</i> seleccionada. . . . .                                                                                                                                                                                                                                          | 29 |
| 4.8  | Selección de Toggle Editing (lápiz) y Add Feature. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                   | 29 |
| 4.9  | Polígono de condición de contorno de entrada. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                        | 29 |
| 4.10 | Diálogo de Boundary Condition. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 30 |
| 4.11 | Panel BC Data de Boundary Condition. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 30 |
| 4.12 | Panel de capas de QGIS con la capa Manning N seleccionada. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                           | 31 |
| 4.13 | Selección de Toggle Editing (lápiz) y Add Feature. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                   | 31 |
| 4.14 | Polígono de n de Manning. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 31 |
| 4.15 | Diálogo New Project. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 33 |
| 4.16 | Opciones de generación de malla. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 33 |
| 4.17 | Vista esquemática del deslizamiento. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 35 |
| 4.18 | Adición de la capa LandSlides. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 35 |
| 4.19 | Atributos de profundidad o volumen del deslizamiento. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                | 36 |
| 4.20 | Concentración de todas las clases que forman el material del deslizamiento. . . . .                                                                                                                                                                                                                                          | 36 |
| 5.1  | Representación uniforme por tramos de las variables del flujo. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                       | 40 |



|      |                                                                                                                                                                                                     |     |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.2  | Parámetros de la celda. . . . .                                                                                                                                                                     | 41  |
| 5.3  | Parámetros de la celda. . . . .                                                                                                                                                                     | 42  |
| 5.4  | Condiciones de contorno abiertas y cerradas. . . . .                                                                                                                                                | 45  |
| 5.5  | Espacio requerido entre condiciones de contorno abiertas adyacentes. . . . .                                                                                                                        | 46  |
| 5.6  | Caudal de entrada de agua impuesto como velocidades (BCTYPE 6). . . . .                                                                                                                             | 47  |
| 5.7  | Sección transversal de entrada rectangular. . . . .                                                                                                                                                 | 50  |
| 5.8  | Sección transversal de entrada irregular. . . . .                                                                                                                                                   | 51  |
| 5.9  | Evaluación de $d_{min}$ . . . . .                                                                                                                                                                   | 52  |
| 5.10 | Nuevo nivel del agua para la sección de entrada. . . . .                                                                                                                                            | 53  |
| 5.11 | Condición de pared sólida. . . . .                                                                                                                                                                  | 55  |
| 6.1  | Parámetros de la celda. . . . .                                                                                                                                                                     | 68  |
| 6.2  | Panel Sediment Transport del DIP. . . . .                                                                                                                                                           | 69  |
| 7.1  | Distribución de velocidad y esfuerzo para el modelo viscoplastico cohesivo. . . . .                                                                                                                 | 78  |
| 7.2  | Distribución de velocidad y esfuerzo para el modelo viscoplastico friccional no lineal. . . . .                                                                                                     | 79  |
| 7.3  | Comportamiento de la resistencia basal para el modelo viscoplastico friccional no lineal. . . . .                                                                                                   | 81  |
| 7.4  | Panel DIP Mud/Tailings Flow. . . . .                                                                                                                                                                | 84  |
| 7.5  | Fórmulas del esfuerzo de fluencia en función de la concentración volumétrica $C_v$ . . . . .                                                                                                        | 85  |
| 7.6  | Fórmulas de la viscosidad en función de la concentración volumétrica $C_v$ . . . . .                                                                                                                | 85  |
| 8.1  | Posibles escenarios hidráulicos en el modelo acoplado RiverFlow2D EPA-SWMM. . . . .                                                                                                                 | 88  |
| 8.2  | Diagrama esquemático de un sistema de drenaje de azotea. La tubería vertical transporta el agua de lluvia desde el tejado (elevación $z_2$ ) hasta el nivel de la calle (elevación $z_1$ ). . . . . | 89  |
| 9.1  | Representación física del intercambio de masa de soluto entre celdas con $q_{i-1/2}^\downarrow, q_{i+1/2}^\downarrow > 0$ . . . . .                                                                 | 93  |
| 9.2  | Extracción de masa de soluto en una celda de contorno de salida. . . . .                                                                                                                            | 94  |
| 9.3  | Panel DIP <i>Pollutant Transport</i> . . . . .                                                                                                                                                      | 94  |
| 12.1 | Aceleración usando el código paralelizado de RiverFlow2D en función del número de núcleos del procesador. . . . .                                                                                   | 106 |
| 12.2 | Aceleración usando el código paralelizado de RiverFlow2D en función del número de núcleos del procesador. . . . .                                                                                   | 107 |
| 13.1 | Panel <i>Control Data</i> de DIP con el componente Bridges seleccionado. . . . .                                                                                                                    | 109 |
| 13.2 | Vista frontal de una sección transversal de puente. . . . .                                                                                                                                         | 112 |
| 13.3 | Vista superior de un puente que muestra las secciones transversales de interés. Solo se representan dos pilas para simplificar. . . . .                                                             | 113 |
| 13.4 | Ejemplo sencillo de $A_1, A_2, A_3$ y $A_4$ utilizados para calcular la pérdida de carga en puentes con superficie libre. . . . .                                                                   | 114 |
| 13.5 | Ejemplo sencillo de $A_1, A_2, A_3$ y $A_4$ utilizados para calcular la pérdida de carga en un puente parcialmente sumergido. . . . .                                                               | 114 |

|       |                                                                                                                                                             |     |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 13.6  | Ejemplo sencillo de $A_1, A_2, A_3$ y $A_4$ utilizados para calcular la pérdida de carga en puentes completamente sumergidos. . . . .                       | 114 |
| 13.7  | Proporciones de las pilas del puente utilizadas para evaluar la influencia del ancho de la estructura. . . . .                                              | 116 |
| 13.8  | Influencia del ancho de la estructura sobre el cambio de carga total ( $\Delta H$ ) a través del puente en función del número de Froud aguas abajo. . . . . | 116 |
| 13.9  | Diálogo del <i>Control Panel</i> de DIP con el componente Bridge Piers seleccionado. . .                                                                    | 117 |
| 13.10 | Pilas dentro de las celdas. . . . .                                                                                                                         | 118 |
| 13.11 | Vista esquemática de una pila rectangular. . . . .                                                                                                          | 118 |
| 13.12 | Diálogo <i>Global Parameters</i> de DIP con el componente Culverts seleccionado. . . .                                                                      | 119 |
| 13.13 | Polígonos de entrada y salida de la alcantarilla. . . . .                                                                                                   | 127 |
| 13.14 | Vista esquemática en corte perpendicular a una estructura de compuerta. . . . .                                                                             | 129 |
| 13.15 | Modos de flujo a través de compuertas. . . . .                                                                                                              | 129 |
| 13.16 | Panel <i>Control Data</i> de DIP con el componente Gates seleccionado. . . . .                                                                              | 130 |
| 13.17 | Niveles de agua para el caudal bajo una compuerta en condiciones sumergidas, formulados como en (G1). . . . .                                               | 131 |
| 13.18 | Niveles de agua para el caudal bajo una compuerta en condiciones sumergidas, formulados como en (G2). . . . .                                               | 131 |
| 13.19 | Dimensiones esquemáticas del modo de fallo de rotura prescrita de una presa. . .                                                                            | 143 |
| 13.20 | Celdas de contorno internas. . . . .                                                                                                                        | 147 |
| 14.1  | Cuadro de diálogo Abrir proyecto de DIP. . . . .                                                                                                            | 149 |
| 14.2  | Ventana principal de DIP. . . . .                                                                                                                           | 150 |
| 14.3  | <i>Control Data Panel</i> . . . . .                                                                                                                         | 151 |
| 14.4  | Panel de transporte de sedimentos. . . . .                                                                                                                  | 155 |
| 14.5  | Urban Drainage EPA-SWMM Panel. . . . .                                                                                                                      | 158 |
| 14.6  | Mud/Tailings Flow Panel. . . . .                                                                                                                            | 159 |
| 14.7  | Panel Pollutant Transport. . . . .                                                                                                                          | 162 |
| 14.8  | Panel de salida gráfica. . . . .                                                                                                                            | 163 |
| 14.9  | Archivo de salida de perfil. . . . .                                                                                                                        | 165 |
| 14.10 | Panel de Cross Section Output. . . . .                                                                                                                      | 166 |
| 14.11 | Panel de Culverts que muestra datos en la curva de gasto. . . . .                                                                                           | 167 |
| 14.12 | Panel Internal Rating Tables. . . . .                                                                                                                       | 168 |
| 14.13 | Panel Weirs. . . . .                                                                                                                                        | 169 |
| 14.14 | Sources/Sinks Panel. . . . .                                                                                                                                | 170 |
| 14.15 | Bridge Scour Panel. . . . .                                                                                                                                 | 171 |
| 14.16 | Panel Bridge Piers. . . . .                                                                                                                                 | 173 |
| 14.17 | Panel de Observation Points. . . . .                                                                                                                        | 174 |
| 14.18 | Panel de Tools. . . . .                                                                                                                                     | 175 |
| 15.1  | Ejemplo de una malla de RiverFlow2D. . . . .                                                                                                                | 178 |
| 15.2  | Vista frontal de una sección transversal de puente. . . . .                                                                                                 | 197 |
| 15.3  | Lectura del archivo de fuentes múltiples. . . . .                                                                                                           | 223 |
| 15.4  | Cuadro de diálogo Multi-sources. . . . .                                                                                                                    | 223 |

# 1

## Introducción

Esta sección presenta el sistema de ecuaciones, la formulación de las condiciones de contorno y el esquema de volúmenes finitos utilizado en RiverFlow2D; la información puede ampliarse en las referencias.

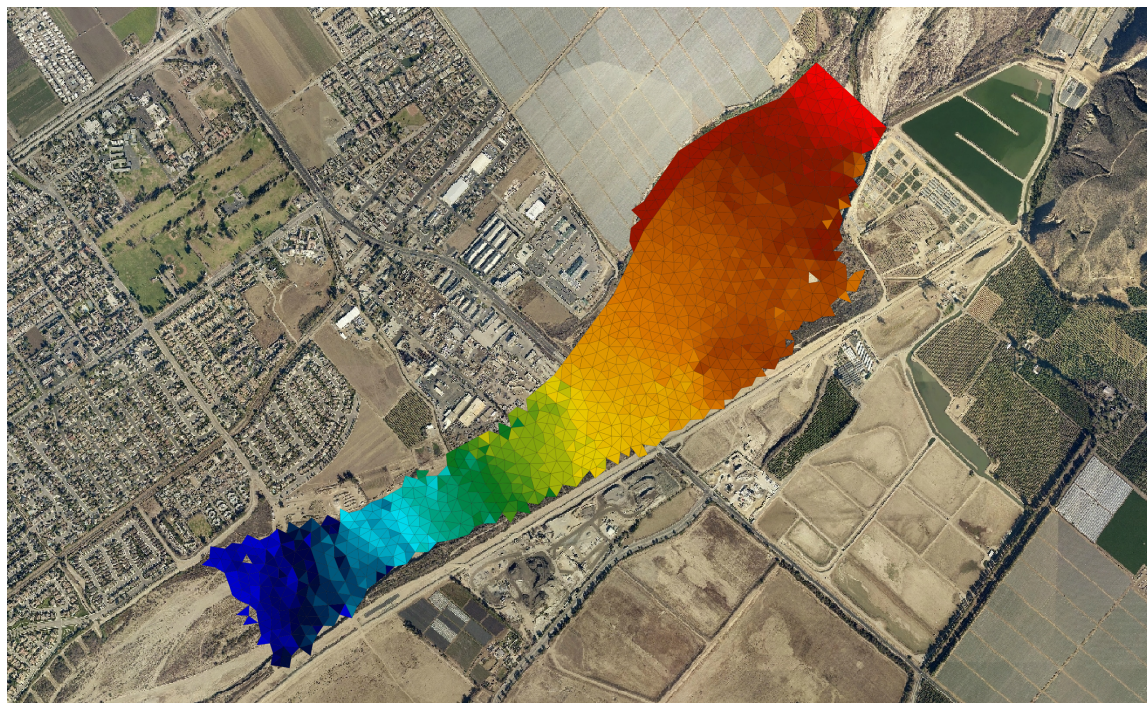
RiverFlow2D es un modelo de volúmenes finitos hidrológico e hidráulico combinado, de lecho móvil y de transporte de contaminantes para ríos, estuarios y llanuras de inundación, basado en el modelo RiverFlow2D. Forma parte del conjunto de modelos de Hydronia, que incluye OilFlow2D. RiverFlow2D puede encaminar inundaciones en ríos y simular la inundación de llanuras de inundación y terrenos complejos con alta resolución y una velocidad, estabilidad y precisión notables. El uso de mallas adaptativas de celdas triangulares permite resolver el campo de flujo alrededor de características clave en entornos fluviales, estuarinos y costeros.

Esta versión del modelo RiverFlow2D incluye una interfaz gráfica de usuario (GUI) basada en un complemento desarrollado por Hydronia para el Sistema de Información Geográfica de código abierto QGIS ([www.qgis.org](http://www.qgis.org)). El complemento fue financiado parcialmente por el Banco Interamericano de Desarrollo. La integración del modelo RiverFlow2D y el sistema de software QGIS proporciona funciones interactivas para generar y refinar la malla flexible utilizada por RiverFlow2D, capas y herramientas GIS conocidas para construir una representación de alto nivel del modelo, facilitar la asignación de condiciones de contorno y valores de Manning's  $n$ , así como todas las demás capas de datos requeridas por los componentes de RiverFlow2D, lo que permite al usuario gestionar eficazmente todo el proceso de modelación.

RiverFlow2D ofrece un conjunto completo de herramientas de visualización que incluye representación de mapas, animaciones y exportación de gráficos en formato shapefile y Google Earth. El motor de cálculo de RiverFlow2D implementa un método preciso, rápido y estable de solución mediante volúmenes finitos que elimina las dificultades de contorno y de arranque en caliente de algunos modelos bidimensionales de malla flexible de generaciones anteriores. RiverFlow2D puede integrar estructuras hidráulicas como alcantarillas, vertederos, puentes, compuertas, tablas de curvas de gasto internas y roturas internas de presas y diques. El modelo también considera el es-

fuerzo del viento distribuido sobre la superficie del agua. Las capacidades hidrológicas incluyen precipitación, evaporación e infiltración distribuidas espacialmente. El modelo también considera el esfuerzo del viento distribuido sobre la superficie del agua.

Este manual de referencia proporciona instrucciones para instalar RiverFlow2D y explica los fundamentos del modelo y sus componentes, así como los métodos numéricos utilizados para resolver las ecuaciones gobernantes. También presenta una descripción detallada de los archivos de datos de entrada y de salida. Un documento tutorial independiente proporciona directrices detalladas para utilizar muchas de las capacidades de RiverFlow2D, que le ayudarán a comenzar a utilizar el modelo y a aprender a aplicar componentes del modelo como puentes, alcantarillas, precipitación e infiltración, vertederos, transporte de sedimentos, etc.



**Figura 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 mallas flexibles de celdas triangulares.
- Refinamiento de la malla a lo largo de polilíneas de densidad o dentro de polígonos.
- Uso de líneas de rotura para ajustar la malla a lo largo de las características del terreno.
- Uso de múltiples modelos digitales de elevación en la misma malla según las áreas seleccionadas por el usuario.
- Interpolación espacial de las elevaciones del DEM en las celdas.
- Optimización de la numeración de celdas y nodos de la malla.

### 1.1.2 Motor numérico

- Discretización espacial mediante celdas triangulares.
- Motor de volúmenes finitos de alto rendimiento.
- Selección automática y dinámica del paso de tiempo computacional.
- Integración de celdas secas.
- Conservación exacta del volumen.
- Cálculos de doble precisión para una mayor exactitud.
- Totalmente paralelizado con OpenMP para una ejecución más rápida en computadoras de varios núcleos.
- Versión GPU para simulaciones hasta  $> 700X$  más rápidas utilizando tarjetas gráficas NVIDIA GPU.

### 1.1.3 Componentes hidráulicos

- Roturas internas de presas y diques.
- Alcantarillas mediante la formulación de la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA).
- Hidráulica de puentes en 2D, incluido el flujo a presión y el sobrevertido.
- Fuerzas de arrastre de pilas de puentes.
- Vertederos con elevaciones variables de coronación.
- Compuertas.
- Rotura de presa (fallo prescrito, erosión por tubificación y sobrevertido)
- Estructuras hidráulicas internas.
- Fuentes y sumideros.
- Precipitación y evaporación distribuidas espacialmente.
- Infiltración distribuida espacialmente.
- Esfuerzo del viento distribuido espacialmente.
- Manning's  $n$  dependiente de la profundidad.
- Socavación de pilas y estribos de puentes.
- Ejecuciones por lotes automatizadas y secuenciales para cada entrada/fuga.

### 1.1.4 Formatos de datos de entrada

- Unidades métricas o inglesas.
- ASCII X, Y, Z.
- Archivos de cuadrícula ASCII de ESRI.
- DEM del USGS.
- Shapefiles de ESRI.
- Autodesk DXF.
- Rásteres TIFF, GIF, JPG, etc.
- Cualquier formato de datos ráster o vectorial aceptado por QGIS.



### 1.1.5 Condiciones iniciales

- Lecho seco.
- Elevaciones constantes del agua definidas por el usuario sobre polígonos.
- Elevaciones variables del agua definidas por el usuario mediante datos ráster.

### 1.1.6 Condiciones de contorno

- Hidrograma de caudal de agua.
- Caudal de agua y elevación del agua frente al tiempo.
- Elevación del agua frente al tiempo.
- Flujo uniforme.
- Tablas de curvas de gasto.
- Salida libre.
- Concentraciones de sedimentos suspendidos de entrada (módulo ST).
- Caudal sólido de entrada para la opción de carga de fondo (módulo ST).
- Concentraciones de contaminantes de entrada (módulo PL).

### 1.1.7 Opciones de salida

- Resultados en secciones transversales y perfiles.
- Puntos de observación: series temporales en ubicaciones seleccionadas por el usuario.
- Gráficos dinámicos mientras se ejecuta el modelo.
- Campo de velocidades, profundidad y elevaciones de la superficie del agua.
- Esfuerzo cortante del lecho.
- Número de Froude.
- Precipitación acumulada.
- Infiltración acumulada.
- Profundidades de erosión y deposición.
- Cambios en la elevación del lecho.
- Flujos de sedimentos.
- Tiempo hasta 0.3 m (1 ft), tiempo hasta 0.5 m (2 ft) , tiempo hasta 1 m (3 ft), tiempo hasta la profundidad máxima y tiempo de llegada de la onda frontal.
- Tiempo de inundación durante el cual la profundidad es superior a 0.1 m o 4 in.
- Tiempo de llegada de la onda frontal.
- Shapefiles de ESRI.
- Gráficos de posprocesamiento GIS, incluidos shapefiles e imágenes ráster.
- Paraview VTK.

### 1.1.8 Salida de resultados para valores máximos

- Magnitud máxima de la velocidad.
- Profundidades máximas.
- Elevaciones máximas de la superficie del agua.
- Profundidad máxima por velocidad.

- Esfuerzo cortante máximo.
- Fuerza de impacto máxima por unidad de anchura.

### 1.1.9 Salida para evaluaciones de peligrosidad

- Peligrosidad para viviendas del United States Bureau of Reclamation (USBR).
- Peligrosidad para vehículos del United States Bureau of Reclamation (USBR).
- Peligrosidad para adultos del United States Bureau of Reclamation (USBR).
- Peligrosidad para niños del United States Bureau of Reclamation (USBR).
- Método suizo para inundaciones.
- Método suizo para flujo de detritos.
- Método austriaco para inundaciones fluviales.
- Método austriaco para torrentes  $T_r = 10$  años.
- Método austriaco para torrentes  $T_r = 100$  años.
- Método del Reino Unido
- Peligrosidad por inundación en Australia

### 1.1.10 Módulo de drenaje urbano (UD)

- Inundación superficial integrada con la red de drenaje pluvial.
- Integración dinámica con EPA-SWMM.
- Polígonos de cuenca definidos por el usuario que definen las áreas de intercambio entre la superficie y el drenaje pluvial.

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

- Cálculo separado del transporte de sedimentos suspendidos y de carga de fondo.
- Múltiples fracciones de tamaño.
- Cambios del lecho (erosión-deposición).
- Dinámica espacial y temporal de las clases del lecho.
- 10 fórmulas de transporte de sedimentos.
- Transporte de sedimentos sobre lecho rígido.
- Gradiente máximo limitado de elevación del lecho.
- Áreas de profundidad máxima de erosión.
- Cálculo acoplado o desacoplado.

### 1.1.12 Módulo de flujo de lodo y residuos mineros (MT)

#### **Nota**

El módulo MT se conocía anteriormente como módulo de flujo de lodo y detritos (MD).

- Fluidos no newtonianos.

- Ocho formulaciones reológicas.
- Flujo granular.
- Densidad, viscosidad y esfuerzo de fluencia variables.
- Múltiples fracciones de tamaño en el material de entrada y del lecho.
- Erosión y deposición.
- Múltiples entradas y depósitos iniciales con propiedades variables.
- Rotura de presa de residuos mineros prescrita.
- Cálculo dinámico de la movilización del volumen del depósito de residuos mineros.

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

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

### 1.1.14 Módulo de calidad del agua (WQ)

- Advección-dispersión-reacción basada en la formulación del modelo EPA-WASP de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

- Considera los siguientes constituyentes:

- Nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ).
- Nitrógeno nitrato ( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ).
- Fósforo inorgánico (IP).
- Carbono del fitoplancton (PHYT).
- Demanda bioquímica de oxígeno carbonosa (CBOD).
- Oxígeno disuelto (DO).
- Nitrógeno orgánico (ON).
- Fósforo orgánico (OP).
- Temperatura (T).
- Bacterias coliformes totales (TC).





**Figura 1.2** – Gráfico que muestra las elevaciones de la superficie del agua calculadas con RiverFlow2D.

# 2

## Instalación y activación de RiverFlow2D

La instalación de RiverFlow2D incluye la versión más actual de QGIS que se ha probado para funcionar con el modelo. Esta sección le ayudará a configurar RiverFlow2D y habilitarlo en QGIS.

### 2.1 Requisitos de hardware

RiverFlow2D es compatible con computadoras de 64 bits que ejecuten versiones del sistema operativo MS-Windows de la 7 a la 11. Se recomienda utilizar una computadora con un mínimo de 4 GB de RAM y al menos 10 GB de espacio libre en el disco duro. RiverFlow2D puede ejecutarse en computadoras modernas con un solo procesador Intel. Si hay procesadores de múltiples núcleos (Duo, Quad, etc.) disponibles, el modelo puede ejecutarse en modo de procesamiento paralelo, funcionando así mucho más rápido que en computadoras con un solo procesador. Además, mediante la opción GPU de RiverFlow2D, el modelo puede aprovechar las tarjetas NVIDIA Graphic Processing Unit (GPU) para ejecutarse hasta 700 veces más rápido que en computadoras con un solo procesador.

### 2.2 Instalación del software

1. Si está instalando en una PC que ejecuta Windows 7 o posterior, debe haber iniciado sesión en la PC como administrador antes de comenzar la instalación.
2. Descargue el software desde el enlace proporcionado al realizar la compra.
3. Ejecute la instalación.

**Nota**

Será necesario reiniciar. Reinicie antes de continuar con la siguiente sección.

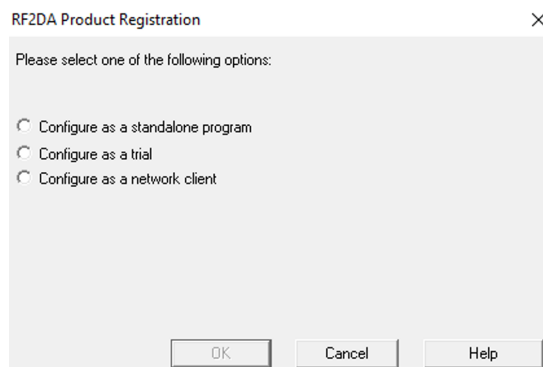
## 2.3 Activación del software

- Standalone: una licencia individual para una computadora.
- Network: una licencia centralizada que permite varios usuarios simultáneos, dependiendo del número de licencias adquiridas. Esto requiere instalar software adicional de gestión de licencias en una computadora accesible de su red.

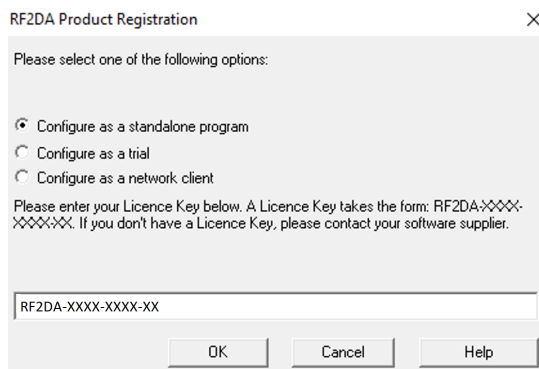
### 2.3.1 Activación de Standalone

Utilice este modo de activación si ha recibido una clave de licencia de software independiente para un solo usuario. Si recibió una clave de licencia de red, continúe con la siguiente sección.

1. Para activar el software, debe abrir el acceso directo de DIP (Hydronia DIP) en su escritorio.
2. En la sección *Control Data* del lado izquierdo, vaya a *Options* y seleccione *License*.
3. Se le solicitará seleccionar una de tres opciones:
  1. Reactivate License
  2. Install Network License Server
  3. Check for Updates
4. Seleccione *Reactivate License*.
5. Aparecerá el siguiente cuadro de diálogo:

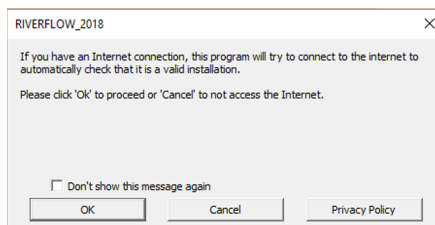


6. Seleccione *Configure as a standalone program*.
7. Introduzca la clave de licencia que se le proporcionó (por ejemplo, ):



8. Haga clic en *OK*.

9. El sistema de protección se conectará al sitio web para comprobar la configuración definida para este código de producto y licencia. Haga clic en *OK* en el cuadro de diálogo.



10. El siguiente cuadro de diálogo solicita los datos de Product Registration. Complete los campos obligatorios:

11. Una vez completado el registro, continúe con la sección *Habilitación de los complementos de Hydronia en QGIS* que aparece a continuación.

### 2.3.2 Instalación del servidor Network

Utilice este modo de activación si ha recibido una clave de licencia de red. Si recibió una clave de licencia independiente, utilice el procedimiento de activación descrito en la sección anterior.

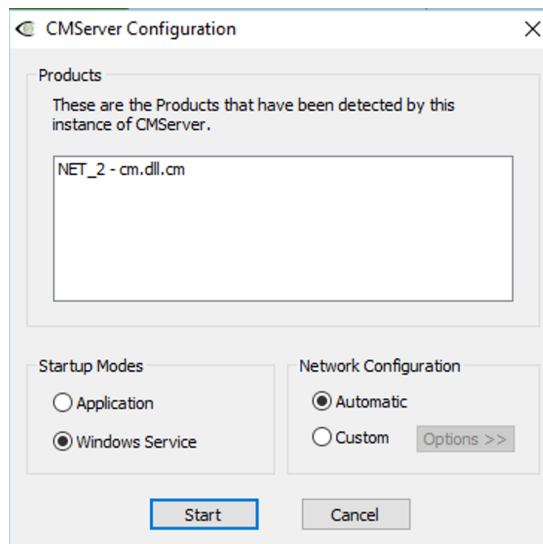
Una instalación de red permite utilizar el software en cualquier número de máquinas de la misma red, pero limita el número de usuarios simultáneos del software.

Las máquinas cliente se comunicarán con este servidor para realizar las comprobaciones de protección.

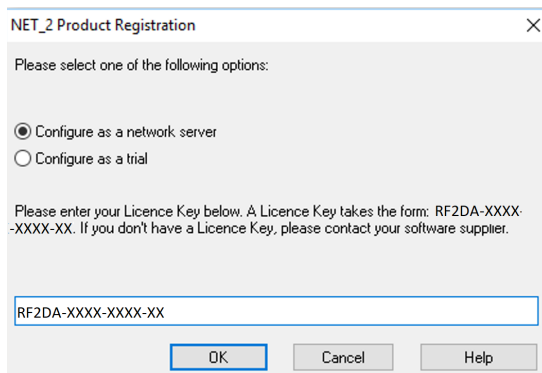
El Network Administrator necesitará una clave de licencia (configurada para permitir la instalación de red) para activar la instalación en el servidor. Se recomienda que el Network Administrator no revele esta clave de licencia a los usuarios finales, para evitar la posible confusión de que el usuario intente activar su copia del software como una instalación para un solo usuario utilizando dicha clave de licencia (esto no funcionará).

El Network Administrator se ejecuta con sus archivos asociados (definidos y distribuidos por Hydronia) en el servidor de red.

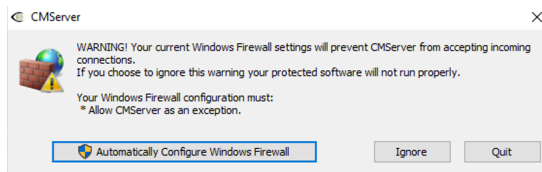
1. Para activar el software, debe abrir el acceso directo de DIP en su escritorio.
2. En la sección *Control Data* del lado izquierdo, vaya a *Options* y seleccione *License*.
3. Se le solicitará seleccionar una de tres opciones:
  1. Reactivate License
  2. Install Network License Server
  3. Check for Updates
4. Seleccione *Install Network License Server*.
5. se mostrará una ventana de configuración.



6. Seleccione *Startup Modes* como *Windows Service*.
7. En *Network Configuration*, seleccione *Automatic*.
8. Haga clic en *Start*.
9. Después de hacer clic en *Start*, introduzca la License Key proporcionada por Hydronia.

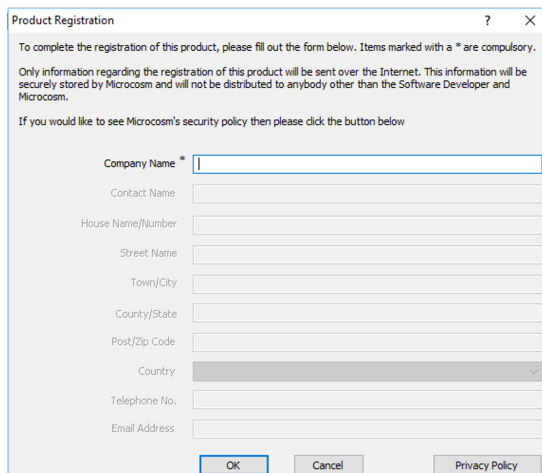


10. Se le solicitará añadir una excepción a las reglas del firewall.

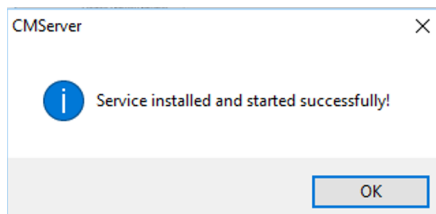


11. Seleccione *Automatically Configure Windows Firewall*.

12. A continuación, introduzca sus datos en la ventana Product Registration:

A screenshot of the 'Product Registration' dialog box. It has a title bar with 'Product Registration' and a close button. The main text says 'To complete the registration of this product, please fill out the form below. Items marked with a \* are compulsory. Only information regarding the registration of this product will be sent over the Internet. This information will be securely stored by Microcosm and will not be distributed to anybody other than the Software Developer and Microcosm. If you would like to see Microcosm's security policy then please click the button below'. The form contains several fields: 'Company Name \*' (text input), 'Contact Name' (text input), 'House Name/Number' (text input), 'Street Name' (text input), 'Town/City' (text input), 'County/State' (text input), 'Post/Zip Code' (text input), 'Country' (dropdown menu), 'Telephone No.' (text input), and 'Email Address' (text input). At the bottom are 'OK', 'Cancel', and 'Privacy Policy' buttons.

13. Si la operación se realiza correctamente, aparecerá el siguiente mensaje:



14. Ahora puede instalar clientes de red en otras máquinas.

### 2.3.3 Instalación del cliente Network

Una vez que el gestor de licencias se esté ejecutando en el servidor, los programas del modelo Hydronia y sus dependencias deben instalarse en cada estación de trabajo cliente. Consulte la

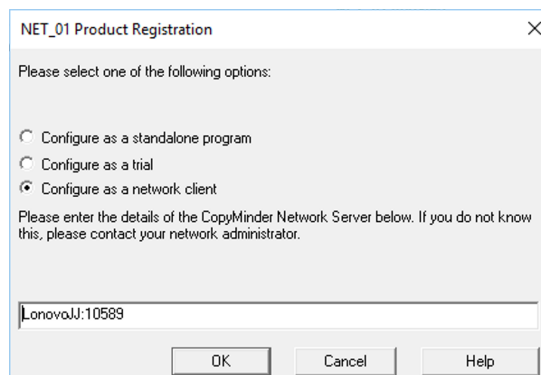
sección *Instalación del software* anterior. Los pasos siguientes suponen que ya ha ejecutado el programa de instalación en la computadora cliente y que está listo para activar el software.

1. Para activar el software, abra el acceso directo de DIP en su escritorio.
2. En la sección *Control Data* del lado izquierdo, vaya a *Options* y seleccione *License*.
3. Se le solicitará seleccionar una de tres opciones:
  1. Reactivate License
  2. Install Network License Server
  3. Check for Updates
4. Seleccione *Reactivate License*
5. Seleccione *Configure as a Network Client*.

#### Nota

Nota: En la mayoría de los casos, el software detectará automáticamente la presencia del Network Server y los datos se completarán. Si esta información no se completa, introduzca la dirección IP o el nombre de la computadora seguido de.

6. La ventana muestra el nombre del servidor de red ( en este ejemplo):



7. Haga clic en *OK*.
8. Repita este proceso para cada cliente de red de RiverFlow2D u OilFlow2D.

#### Nota

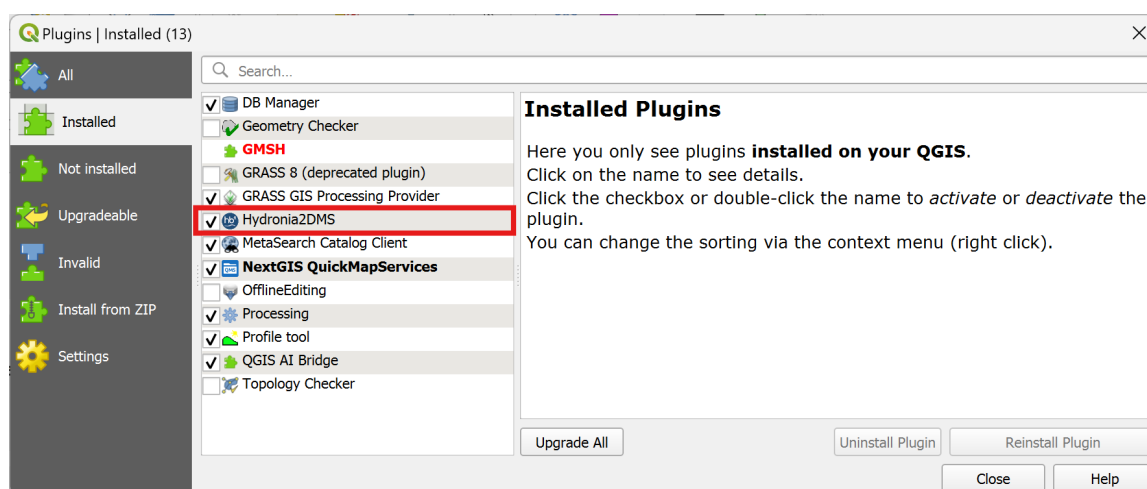
Nota: El software se puede instalar y configurar como cliente de red en tantas computadoras de la red como se desee. En ese caso, el modelo solo se ejecutará simultáneamente en tantas computadoras como licencias de RiverFlow2D u OilFlow2D haya adquirido.



## 2.4 Habilitación de los complementos de Hydronia en QGIS

De forma predeterminada, la primera vez que ejecute QGIS, los complementos desarrollados para RiverFlow2D u OilFlow2D no estarán habilitados.

Para la versión 10 y posteriores, habilite el complemento unificado Hydronia2DMS en la lista *Installed*. Hydronia2DMS proporciona las herramientas con funciones de RiverFlow2D o OilFlow2D para su instalación. Las entradas de complementos específicas del producto que se muestran en las siguientes secciones corresponden a instalaciones independientes o anteriores a la v10.

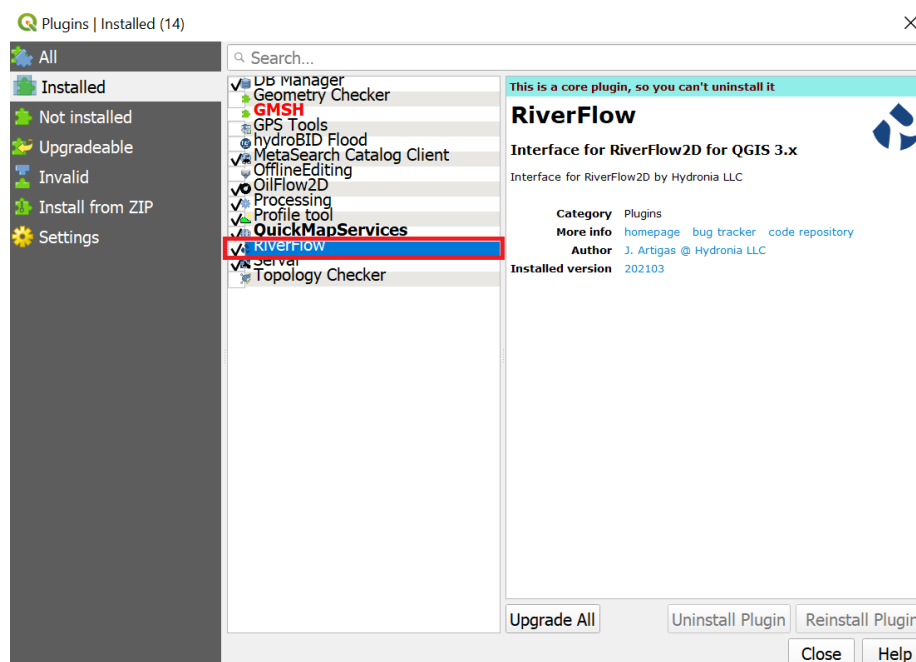


**Figura 2.1** – Ventana de complementos de QGIS que muestra Hydronia2DMS instalado para la versión 10 y posteriores.

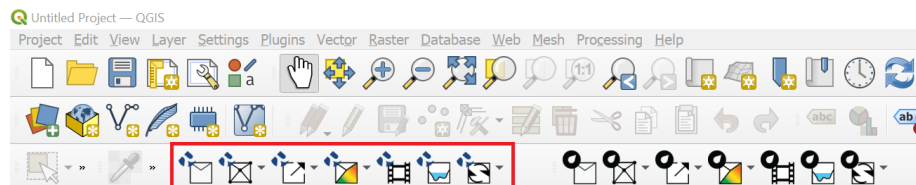
### 2.4.1 Habilitación del complemento RiverFlow2D (anterior a v10 o independiente)

Para el complemento RiverFlow2D, habilítelo seleccionando la casilla *RiverFlow* mediante el menú *Plugins | Manage and Install Plugins...*, como se muestra.



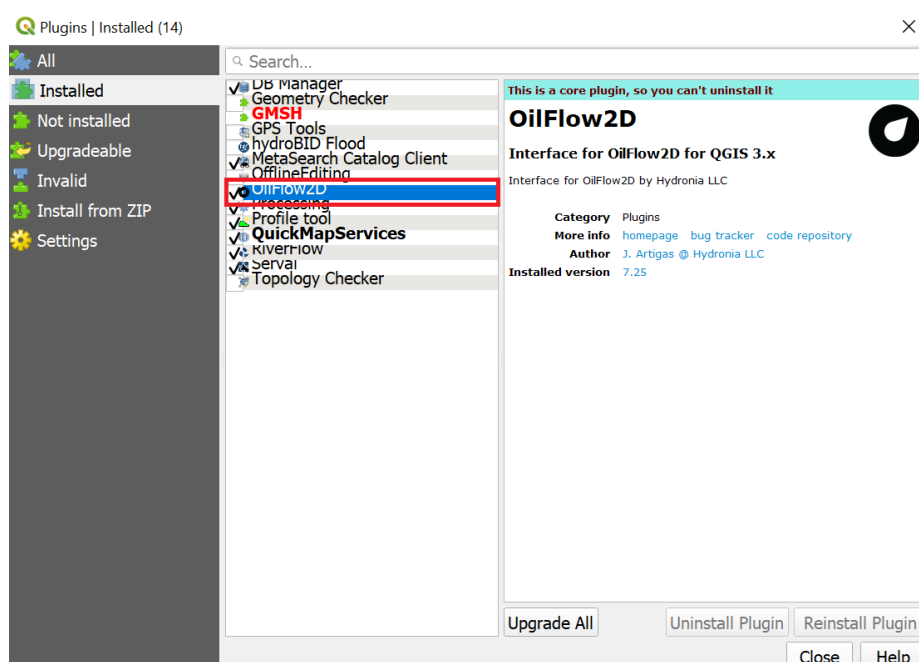


A continuación, verifique que los iconos del complemento RiverFlow2D aparezcan en el área de la barra de herramientas de QGIS:

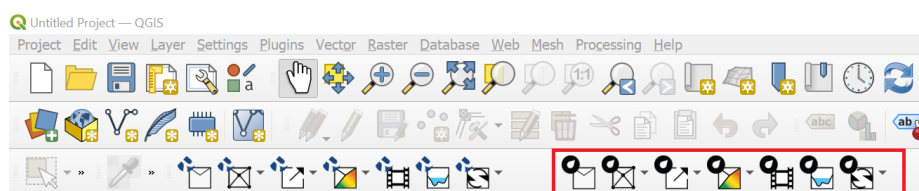


## 2.4.2 Habilitación del complemento OilFlow2D (anterior a v10 o independiente)

Para el complemento OilFlow2D, habilítelo seleccionando la casilla *OilFlow2D* mediante el menú *Plugins | Manage and Install Plugins...*, como se muestra.



A continuación, verifique que los iconos del complemento OilFlow2D aparezcan en el área de la barra de herramientas de QGIS:

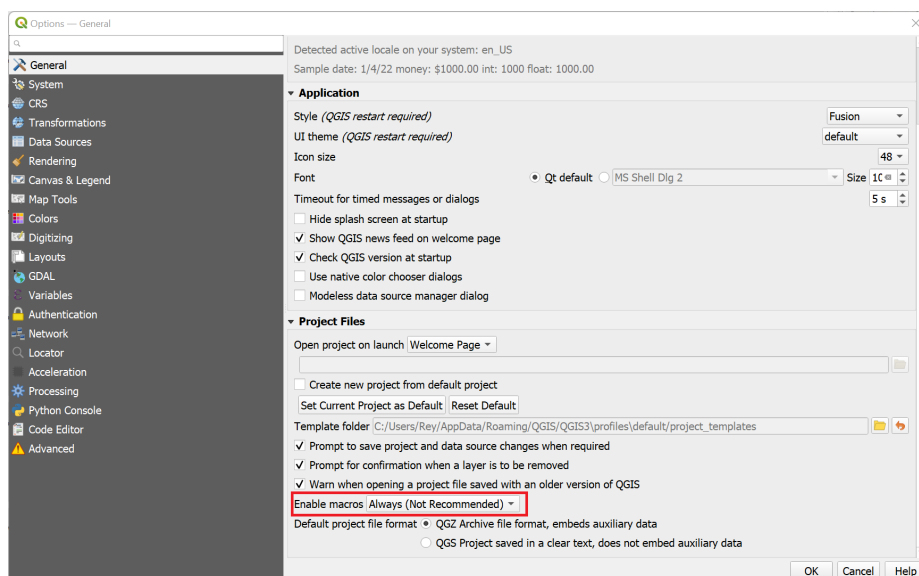


### 2.4.3 Habilitación de macros en QGIS

Para utilizar correctamente el complemento RiverFlow2D, es necesario habilitar el uso de macros en QGIS. Para ello, acceda al cuadro de diálogo *Options* mediante el menú *Settings | Options...* y, en el panel *General*, desplácese hacia abajo y seleccione la opción *Always* en la lista desplegable *Enable Macros*, como se indica en la figura siguiente.

#### Nota

No preste atención a la advertencia (*Not Recommended*) de la opción, ya que se muestra para advertir sobre complementos de origen desconocido, lo cual no se aplica a los complementos de Hydronia.



## 2.5 Solución de problemas

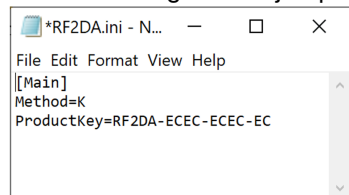
En esta sección incluimos soluciones para algunos problemas que pueden producirse durante la instalación del software. Tenga en cuenta que siempre puede ponerse en contacto con el equipo de soporte de Hydronia en para informar de cualquier mensaje de error o problema que pueda encontrar durante la instalación.

### 2.5.1 Cómo encontrar su clave de licencia

Si alguna vez tiene un problema relacionado con la instalación, puede encontrar la clave de licencia en los siguientes archivos, según el tipo de instalación que esté utilizando:

- Standalone: C:\ProgramData\AVU\RF2DA.ini
- Network License Server: C:\Program Files\Hydronia\LicenseManager\RF2DA.ini

Abra el archivo con Notepad o cualquier otro editor de texto; la clave de licencia se indicará después de “”. En el siguiente ejemplo, la clave de licencia es:



### 2.5.2 Cómo saber quién utiliza el software en una instalación de red

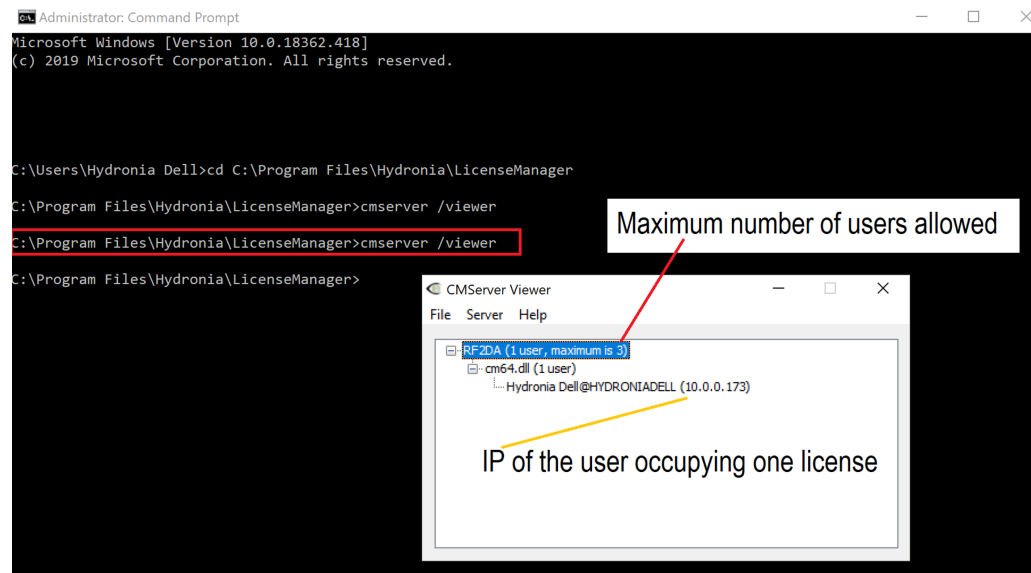
Puede comprobar cuántos usuarios ocupan cada licencia y conocer su ID de computadora mediante el programa visor que está instalado en la carpeta.

En la , se muestran todas las licencias en uso, con el nombre o la dirección IP de la máquina y el nombre de usuario.

Si CMserver se está ejecutando como servicio, puede iniciar la interfaz gráfica del visor desde la línea de comandos de la siguiente manera:

1. En el cuadro de búsqueda de Windows, escriba y luego presione *Enter*
2. Introduzca y presione *Enter*
3. Introduzca y presione *Enter*

La información mostrada en la ventana será similar a la indicada en la siguiente figura



### 2.5.3 ERROR 641: "You have reached the limit on the maximum number of simultaneous users of this program."

Este error puede aparecer cuando hay más modelos intentando ejecutarse que licencias disponibles. Sin embargo, en ocasiones la ejecución se interrumpió en una etapa crítica y el ejecutable del modelo permanece en la memoria. El sistema de protección interpreta esto como si hubiera más licencias en ejecución. Para solucionar este problema, abra el Windows task Manager y, en la pestaña Process, busque el ejecutable del modelo, selecciónelo haciendo clic en el archivo y haga clic en *End task*. Esto eliminará el modelo de la memoria y finalizará la ejecución inactiva.

### 2.5.4 ERROR 659: "This program is configured for network installation only. It cannot be installed as a standalone system."

Este error suele ser consecuencia de especificar una Product Key en una máquina cliente de red en lugar del License Manager Host Name. Para una instalación de red, cuando el modelo se ejecuta por primera vez en una máquina cliente, debe seleccionar *Configure as a network client* e introducir el Host Name de la computadora donde está instalado el Network License manager. Para resolver el problema, siga las instrucciones de activación anteriores.

### 2.5.5 ERROR 660: “This program is configured for standalone installation only. It cannot be installed as a network system”

Este error se produce por haber utilizado una clave de licencia destinada únicamente a instalaciones de red con una licencia que se ha configurado para uso independiente. Para resolver el problema, instale el Network License Server según las instrucciones de la sección en la página y utilice la clave proporcionada por Hydronia.

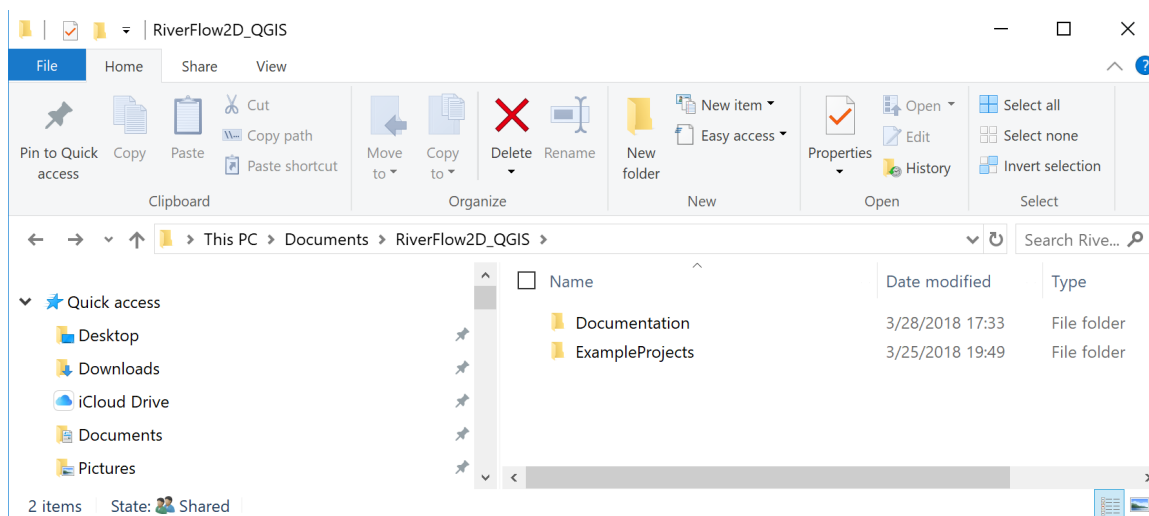
### 2.5.6 ERROR 739: “This program has been installed or copied too many times.”

Este error se genera cuando el programa RiverFlow2D se ha instalado o reactivado más veces de las permitidas por el programa de protección. Esto no indica necesariamente un uso inadecuado del modelo. Si obtiene este error, envíe un correo electrónico a nuestro equipo de soporte indicando el error y su clave de licencia. Con esa información, restableceremos el servidor de licencias para liberar la licencia.

Si no conoce su clave de licencia, póngase en contacto con el soporte de Hydronia.

## 2.6 Documentación de RiverFlow2D

Encuentre la documentación de RiverFlow2D, incluido este manual, en la carpeta de documentación instalada con el software. La instalación también incluye proyectos de ejemplo, vídeos y otros recursos útiles.



**Figura 2.2** – Ubicación de la carpeta de documentación de RiverFlow2D.

## 2.7 Soporte técnico de RiverFlow2D

Si tiene alguna pregunta o necesita ayuda para utilizar RiverFlow2D, envíe un correo electrónico a nuestro equipo de soporte a:

<mailto:support@hydronia.com>. Asegúrese de visitar regularmente nuestro sitio web <https://www.hydronia.com> para informarse sobre nuevos productos y novedades del software. Visite <https://www.hydronia.com/software-updates> para descargar la actualización de software más reciente y el documento Release Notes, que contiene una lista de las correcciones, cambios y actualizaciones recientes.

## 2.8 Tutoriales de RiverFlow2D

La mejor manera de familiarizarse con las capacidades de RiverFlow2D y aprender a utilizarlas es seguir los tutoriales. En el RiverFlow2D que se incluye hay tutoriales para comenzar a trabajar con el modelo y con varios de sus componentes. Cada tutorial incluye un conjunto de archivos que puede utilizar para realizar cada ejercicio.

# 3

## Descripción general de RiverFlow2D

Cuando se crea un proyecto nuevo de RiverFlow2D en QGIS, el complemento crea varias capas vacías, cada una con un propósito específico y asociada a determinados componentes o módulos. El conjunto estándar incluye las capas representadas en la figura. La descripción de cada capa se incluye en la tabla.

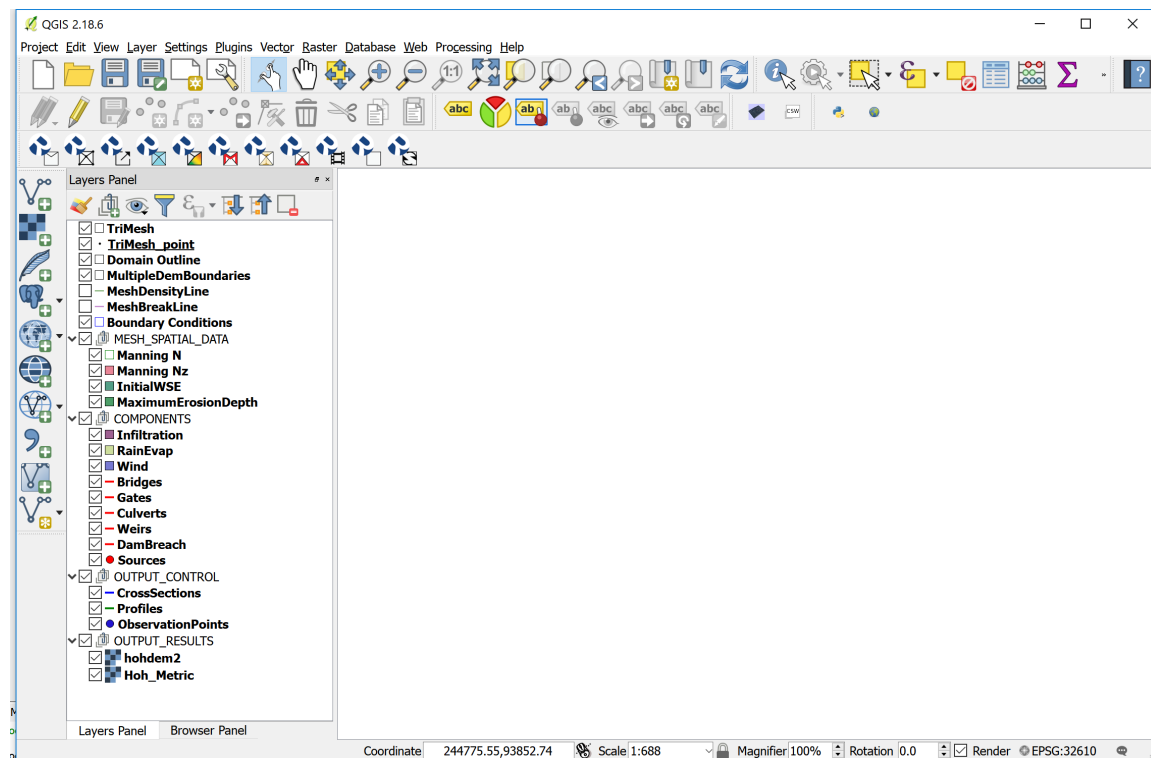


Figura 3.1 – Capas estándar creadas al usar el comando New RiverFlow2D Project.

|                         |         | Contenido                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Contenido</b>        |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| TriMesh                 | Polygon | Contiene las celdas triangulares de la malla. El programa de generación de mallas la crea automáticamente.                                                                                                                                                                                                                                        |
| Domain Outline          | Polygon | Contenedor del polígono externo requerido que define la extensión del área de modelación. También puede incluir polígonos internos que representan islas impermeables u otros obstáculos que no contendrán celdas. Cada polígono tiene un atributo <i>CellSize</i> que controla el tamaño aproximado de triángulo deseado para la malla generada. |
| MultipleDemBoundaries   | Polygon | Se utiliza para introducir polígonos que definen áreas con diferentes conjuntos de datos de elevación del terreno. Cada polígono se puede asociar a una capa ráster diferente que contenga un modelo de elevación del terreno.                                                                                                                    |
| MeshDensityLine         | Line    | Se utiliza para introducir polilíneas a lo largo de las cuales el programa de generación de mallas refinará la malla según el atributo <i>CellSize</i> de cada polilínea. Las líneas no obligan al generador de mallas a crear nodos a lo largo de ellas. En este sentido, actúan como breaklines blandas.                                        |
| MeshBreakLine           | Line    | Se utiliza para introducir polilíneas a lo largo de las cuales el programa de generación de mallas refinará la malla según el atributo <i>CellSize</i> de cada polilínea. Las líneas obligan al generador de mallas a crear nodos a lo largo de ellas. Por lo tanto, actúan como breaklines duras.                                                |
| Boundary Conditions     | Polygon | Contenedor de polígonos que definen los límites abiertos del modelo, ya sean de entrada o de salida. Todas las celdas de límite ubicadas dentro de estos polígonos serán celdas de límite abierto.                                                                                                                                                |
| MESH_SPATIAL_DATA       |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Multiple DEM Boundaries | Polygon | Contenedor de polígonos sobre los que se utilizarán diferentes rásteres de elevación (por ejemplo, DEM) para interpolar las elevaciones de las celdas.                                                                                                                                                                                            |
| Manning N               | Polygon | Define áreas con diferentes valores de n de Manning.                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Manning Nz              | Polygon | Acepta polígonos asociados a archivos que contienen tablas de n de Manning en función de la profundidad.                                                                                                                                                                                                                                          |
| InitialWSE              | Polygon | Contenedor de áreas de elevaciones iniciales de la superficie del agua (WSE).                                                                                                                                                                                                                                                                     |



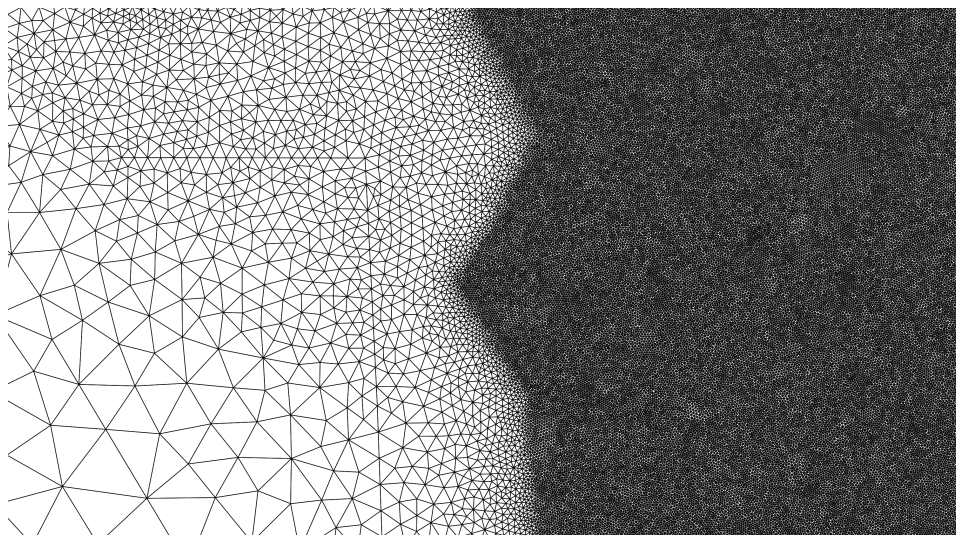
| Contenido           |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MaximumErosionDepth | Polygon | Contenedor de polígonos con el atributo Maximum Erosion Depth (MED). Al utilizar el módulo Sediment Transport ST, el modelo no permitirá que la erosión reduzca la elevación del lecho por debajo de la elevación inicial del lecho menos MED.                                                                    |
| COMPONENTS          |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Infiltration        | Polygon | Define áreas con diferentes parámetros de infiltración.                                                                                                                                                                                                                                                           |
| RainEvap            | Polygon | Contenedor de áreas asociadas a una intensidad de lluvia y evaporación.                                                                                                                                                                                                                                           |
| Wind                | Polygon | Define áreas asociadas a una serie temporal de velocidad del viento que se utilizará en el modelo para calcular el esfuerzo del viento sobre la superficie del agua.                                                                                                                                              |
| Bridges             | Line    | Incluye polilíneas que definen puentes. Cada entidad tendrá datos específicos que caracterizan la sección transversal del puente. Además, las líneas actuarán como breaklines duras.                                                                                                                              |
| Gates               | Line    | Incluye polilíneas que definen compuertas. Cada entidad tendrá datos específicos que caracterizan la compuerta, incluida la tabla de apertura de la compuerta. Además, cada línea actuará como una breakline dura.                                                                                                |
| Culverts            | Line    | Contiene líneas que conectan dos puntos del área de modelación mediante alcantarillas. El modelo calculará el caudal de la alcantarilla según los datos proporcionados y transferirá el caudal desde la celda de entrada de la alcantarilla hasta la celda de salida de la alcantarilla.                          |
| Weirs               | Line    | Contenedor de polilíneas que definen vertederos. Cada entidad tendrá datos específicos que caracterizan el vertedero. La línea actuará como una breakline dura.                                                                                                                                                   |
| DamBreach           | Line    | Contiene polilíneas que representan presas o diques en planta. Permiten al modelo calcular el caudal a través de brechas en diques o presas.                                                                                                                                                                      |
| Sources             | Point   | Contenedor de fuentes o sumideros puntuales. Los datos de la fuente incluyen una serie temporal de caudal frente al tiempo. Al utilizar el módulo Pollutant Transport PL, los datos deben incluir concentraciones para cada contaminante además del caudal. Los sumideros se definen mediante caudales negativos. |

|                                 |            | Contenido                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OilSpills                       | Point      | Contenedor de ubicaciones de derrames dentro de la malla. Cada punto de derrame necesita datos para definir el volumen del derrame y otros parámetros necesarios para simular la trayectoria y el comportamiento del petróleo basándose en resultados existentes de una ejecución hidrodinámica. |
| Piers                           | Point      | Contenedor de ubicaciones de pilas de puente. Las pilas se utilizan para introducir datos que permitirán al modelo calcular la socavación alrededor de las pilas del puente.                                                                                                                     |
| Abutments                       | Line       | Contenedor de ubicaciones de estribos de puente. Los estribos se utilizan para introducir datos que permitirán al modelo calcular la socavación alrededor de los estribos del puente.                                                                                                            |
| StormDrain                      | Point      | Contenedor para indicar puntos de intercambio de flujo entre el agua superficial y la red de drenaje pluvial de un modelo EPA-SWMM.                                                                                                                                                              |
| OUTPUT_CONTROL<br>CrossSections | Line       | Contenedor de líneas que definen secciones transversales donde el modelo escribirá resultados, incluido el caudal, para cada intervalo de informe.                                                                                                                                               |
| Profiles                        | Line       | Define perfiles donde el modelo escribirá en archivos de texto los resultados de cada intervalo de informe.                                                                                                                                                                                      |
| Observation Points              | Point      | Contenedor de ubicaciones donde el modelo escribirá resultados en cada intervalo de informe.                                                                                                                                                                                                     |
| OUTPUT_RESULTS<br>Grupo que i   | ncluye cap | as con resultados del modelo que serán incorporadas por el programa al crear gráficos específicos con los resultados del modelo.                                                                                                                                                                 |
| : Capas de RiverFlow2D.         |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

# 4

## Generación de malla en RiverFlow2D

La base del motor computacional de RiverFlow2D es la malla flexible, también llamada malla no estructurada o red irregular triangular (Triangular Irregular Network, TIN). La malla está formada por triángulos, normalmente de diferentes tamaños, y se denomina flexible porque puede adaptarse a la topografía irregular, los límites, las estructuras o cualquier obstáculo que pueda existir en el área de modelización.



**Figura 4.1** – Malla flexible típica de RiverFlow2D.

La unidad computacional fundamental del modelo RiverFlow2D es la celda triangular, donde se calculan las velocidades, la profundidad y otras variables.

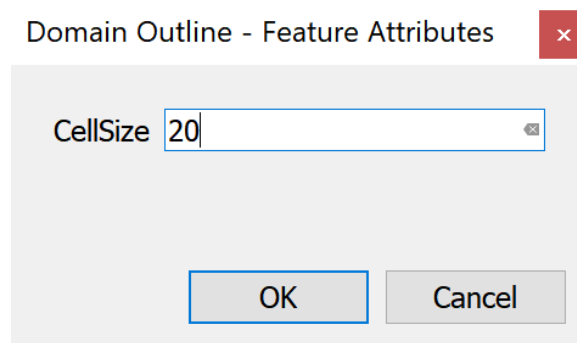
En RiverFlow2D hay varias herramientas que se pueden utilizar para controlar la generación de la malla. Estas herramientas utilizan objetos espaciales como polilíneas y polígonos, y parámetros que puede introducir en las capas *Domain Outline*, *MeshDensityLine*, *MeshDensityPolygon* y

*MeshBreakLine*.

## 4.1 Control del tamaño de celda mediante el contorno del dominio

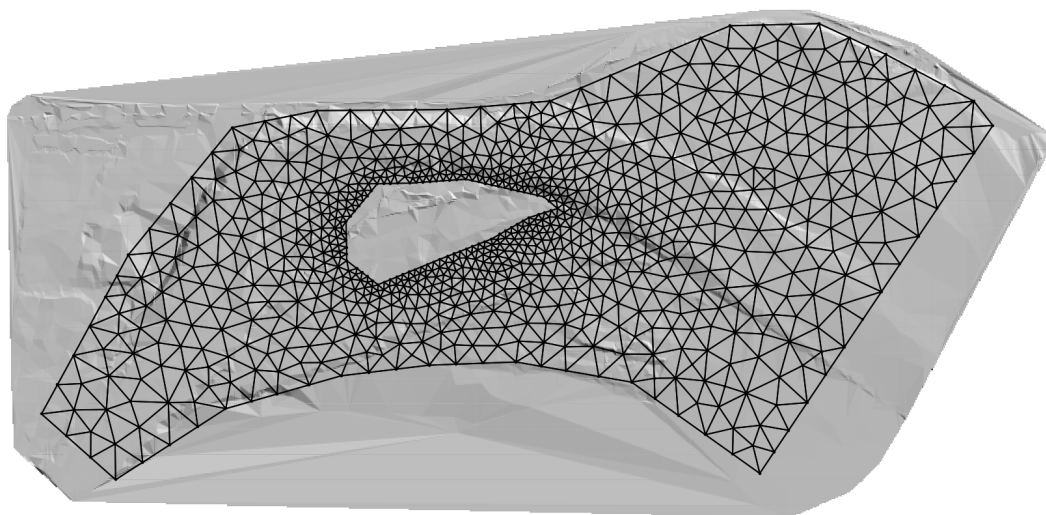
*Domain Outline* es una capa clave que define los límites de la malla y la extensión del área de modelización. Acepta polígonos y debe contener al menos un polígono. También puede incluir polígonos internos que representan islas impermeables u otros obstáculos. Los polígonos internos no contendrán celdas.

Para cada polígono de la capa *Domain Outline* debe introducir un atributo *CellSize* que controle el tamaño aproximado del triángulo deseado para la malla generada.



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

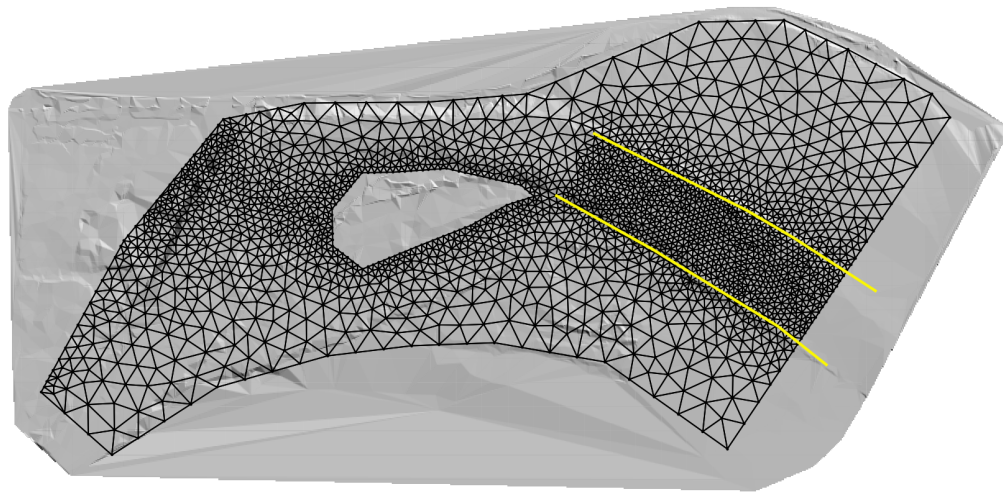
La figura muestra una malla con un hueco. La malla está definida por un polígono externo con *CellSize* igual a 50 ft, y el polígono interno tiene un *CellSize* de 10 ft. Observe que la malla resultante tiene triángulos más pequeños alrededor del polígono interno y triángulos más grandes cerca del límite.



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

## 4.2 Control del tamaño de celda mediante polilíneas en la capa *MeshDensityLine*

La capa *MeshDensityLine* se utiliza para introducir polilíneas sobre las que el programa de generación de malla refinará la malla de acuerdo con el atributo *CellSize* de cada polilínea. Las polilíneas no obligarán al generador de malla a crear nodos a lo largo de las líneas. En este sentido, actúan como líneas de ruptura blandas.

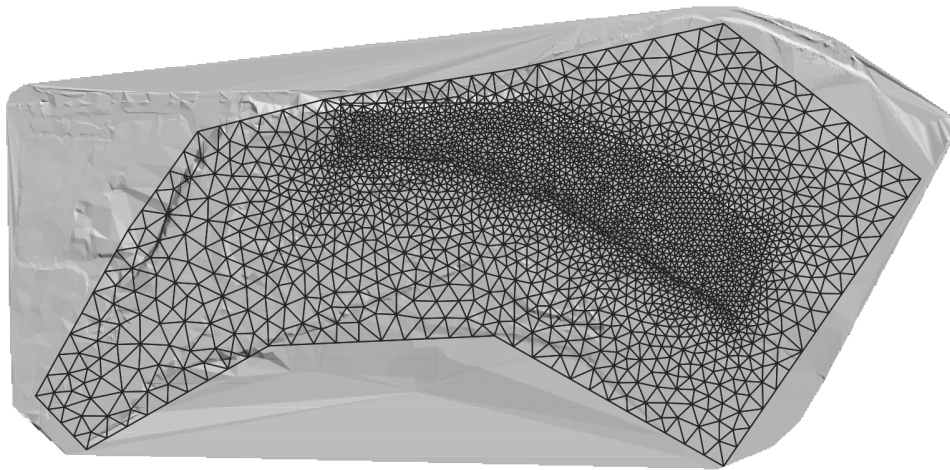


**Figura 4.4** – Malla generada a partir de los polígonos de la Figura al añadir las dos polilíneas en la capa *MeshDensityLine*.

## 4.3 Control del tamaño de celda mediante polígonos en la capa *MeshDensityPolygon*

La capa *MeshDensityPolygon* se utiliza para introducir polígonos dentro de los cuales el programa de generación de malla refinará la malla de acuerdo con el atributo *CellSize* de cada polígono. Los contornos de los polígonos no obligarán al generador de malla a crear nodos a lo largo de los límites de los polígonos.

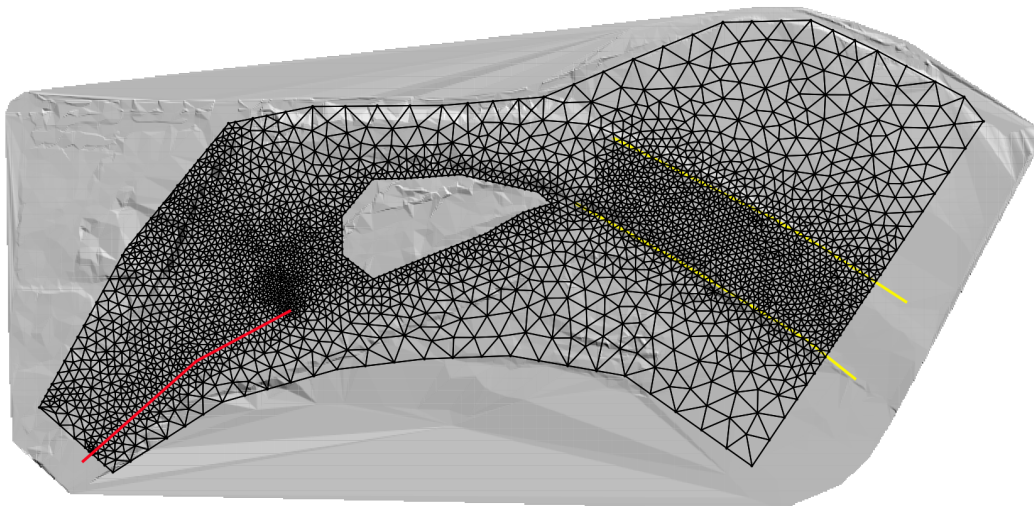




**Figura 4.5** – Malla generada a partir del polígono de la capa *MeshDensityPolygon*.

## 4.4 Control del tamaño de celda mediante polilíneas en la capa *MeshBreakLine*

La capa *MeshBreakLine* se utiliza para introducir polilíneas a lo largo de las cuales el programa de generación de malla refinará la malla de acuerdo con el atributo *CellSize* de cada polilínea, de forma similar a la capa *MeshDensityLine*, pero en este caso las líneas obligarán al generador de malla a crear nodos a lo largo de las líneas. Por lo tanto, actúan como líneas de ruptura duras.



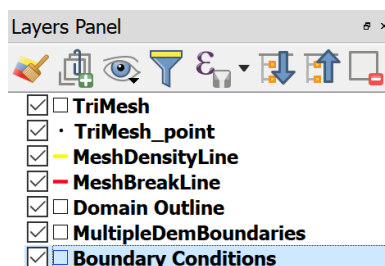
**Figura 4.6** – Malla generada a partir de los polígonos y polilíneas de la Figura al añadir la polilínea en la capa *MeshBreakLine*. Observe que, a diferencia de la capa *MeshDensityLine*, las polilíneas introducidas en la capa *MeshBreakLine* obligan a la malla a tener nodos a lo largo de las polilíneas.

Además del control ofrecido por los objetos espaciales introducidos en las capas *Domain Outline*,

*MeshDensityLine*, *MeshDensityPolygon* y *MeshBreakLine*, se pueden utilizar otras capas para ajustar la alineación y la resolución de la malla. Por ejemplo, los componentes Bridges, Gates y Weirs se introducen como polilíneas en las capas respectivas y todos tienen un atributo *CellSize* que produce el mismo efecto que las líneas de ruptura de malla.

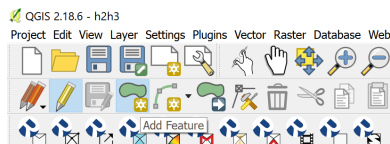
## 4.5 Condiciones de contorno

Los datos para imponer condiciones de contorno abiertas en RiverFlow2D deben introducirse en la capa *Boundary Conditions*. Esta capa solo acepta polígonos. No se permiten líneas ni puntos. Para introducir un polígono, primero seleccione la capa haciendo clic en *Boundary Conditions* en el panel de capas de QGIS.



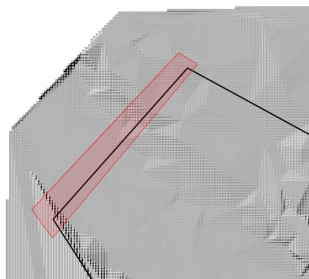
**Figura 4.7** – Panel de capas de QGIS con la capa *Boundary Conditions* seleccionada.

A continuación, haga clic en Toggle Editing (lápiz) y en Add Feature (polígono), como se muestra.



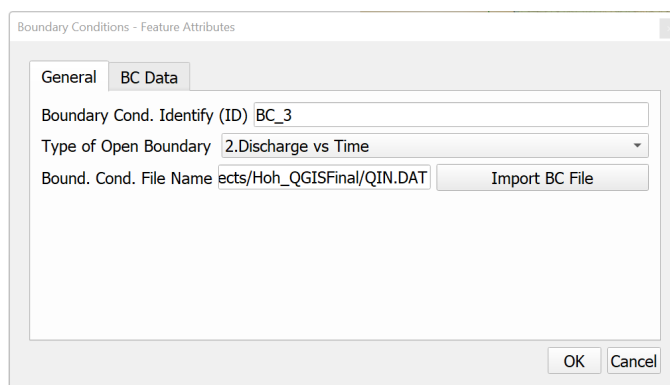
**Figura 4.8** – Selección de Toggle Editing (lápiz) y Add Feature.

Con el ratón, haga clic en los vértices hasta crear un polígono que cubra el área que desea definir como un límite abierto.



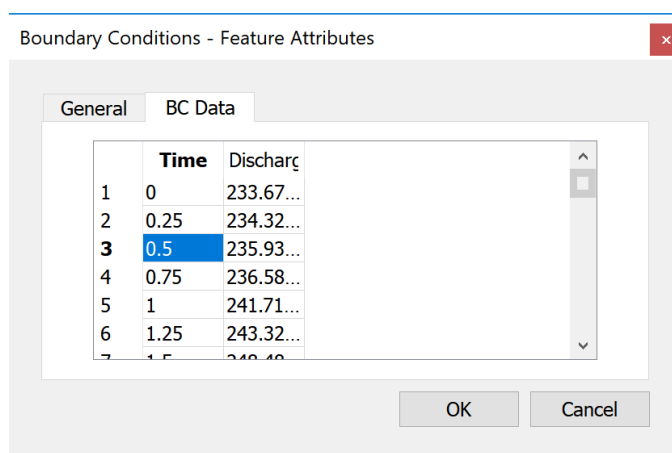
**Figura 4.9** – Polígono de condición de contorno de entrada.

Para terminar de introducir el polígono, haga clic con el botón derecho y utilice el diálogo para establecer el límite abierto como Inflow, Discharge vs. time. Los datos se escribirán en el archivo de condiciones de contorno asociado.



**Figura 4.10** – Diálogo de Boundary Condition.

Para completar los datos, seleccione el panel BC Data e introduzca el hidrograma como se muestra.



**Figura 4.11** – Panel BC Data de Boundary Condition.

Todos los nodos del límite de la malla que se encuentren dentro del polígono se considerarán nodos de límite abierto.

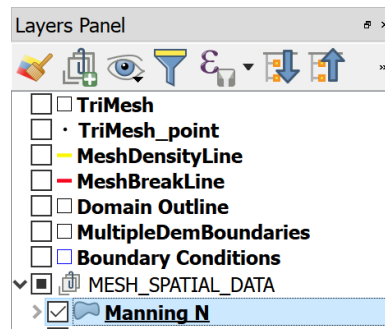
Puede definir tantos límites de entrada y salida como sean necesarios. Todo límite que no esté contenido dentro de los polígonos BC se considerará un límite cerrado y no se permitirá que el flujo lo atraviese.

## 4.6 Datos espaciales de la malla

### 4.6.1 n de Manning

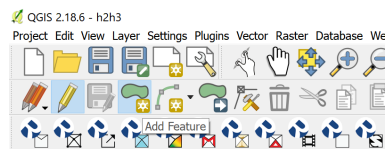
Para asignar coeficientes n de Manning espacialmente variables en RiverFlow2D, introduzca polígonos en la capa Manning N. Esta capa solo acepta polígonos. No se permiten líneas ni puntos. Para introducir un polígono, primero seleccione la capa haciendo clic en Manning N en el panel de capas de QGIS.





**Figura 4.12** – Panel de capas de QGIS con la capa Manning N seleccionada.

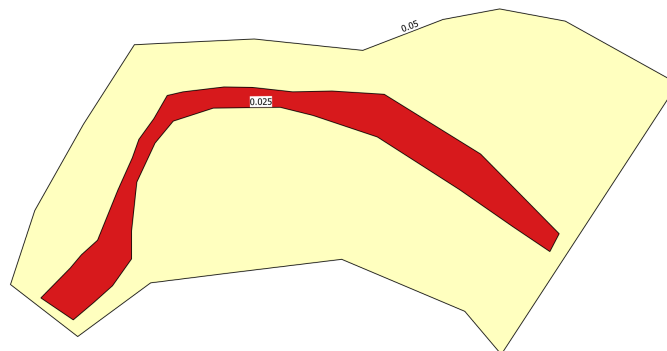
A continuación, haga clic en Toggle Editing (lápiz) y en Add Feature (polígono), como se muestra.



**Figura 4.13** – Selección de Toggle Editing (lápiz) y Add Feature.

Con el ratón, haga clic en los vértices hasta crear un polígono que cubra el área donde desea establecer un valor  $n$  de Manning específico.

Para terminar de introducir el polígono, haga clic con el botón derecho y utilice el diálogo para establecer el límite abierto como Inflow, Discharge vs. time. Los datos se escribirán en el archivo de condiciones de contorno asociado.



**Figura 4.14** – Polígono de  $n$  de Manning.

Para completar los datos, seleccione el panel *BC Data* e introduzca el hidrograma como se muestra. A todas las celdas del polígono de  $n$  de Manning se les asignará el valor  $n$  correspondiente a ese polígono; los nodos del límite de la malla que se encuentren dentro del polígono se considerarán nodos de límite abierto.

## 4.7 Funciones de la barra de herramientas de RiverFlow2D

### 4.7.1 Nuevo proyecto de RiverFlow2D



Este icono se utiliza para crear desde cero una nueva plantilla de proyecto. Hay tres cosas que debe hacer en el diálogo para terminar de crear un nuevo proyecto:

1. Seleccione los componentes o las capas de malla que desea crear.
2. Seleccione el sistema de referencia de coordenadas o *Projection*.
3. Introduzca el *Project Directory* de trabajo.

La figura muestra el diálogo *Create New RiverFlow2D Project Dialog*. Tenga en cuenta que no es necesario seleccionar todas las capas disponibles, sino solo las que utilizará inicialmente en su proyecto. Siempre puede añadir más capas posteriormente mediante el comando *New Template Layer* en el icono *Tools* de RiverFlow2D que se describe a continuación.



## RiverFlow2D

Crear nuevo proyecto de RiverFlow2D

Capas: todos

☒ MeshDensityLine  
☒ MeshBreakLine

☒ MeshDensityPolygon  
☒ Multiple DEM Boundaries

☒ Manning Nz

☒ Bridges  
☒ Gates  
☒ Culverts  
☒ Weirs  
☒ DamBreach  
☒ Piers  
☒ Abutments  
☒ Infiltration  
☒ RainEvap  
☒ Wind  
☒ Source/Sink  
☒ Internal Rating Table

☒ Initial WSE  
☒ Initial Concentrations  
☒ Initial Bed Fractions

☒ MaximumErosionDepth

☒ Channels1D  
☒ Boundary Conditions 1D

☒ CrossSections  
☒ Profiles  
☒ ObservationPoints

Proyección: EPSG:2855

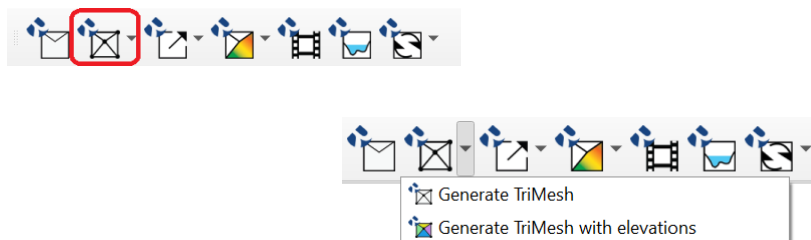
Nombre del escenario inicial: rf2d\_base

Directorio del proyecto:  ...

Aceptar
Cancelar

**Figura 4.15** – Diálogo New Project.

### 4.7.2 Generar TriMesh



**Figura 4.16** – Opciones de generación de malla.

### 4.7.3 Exportar archivos para RiverFlow2D



### 4.7.4 Mapas



### 4.7.5 Animaciones



### 4.7.6 Secciones transversales

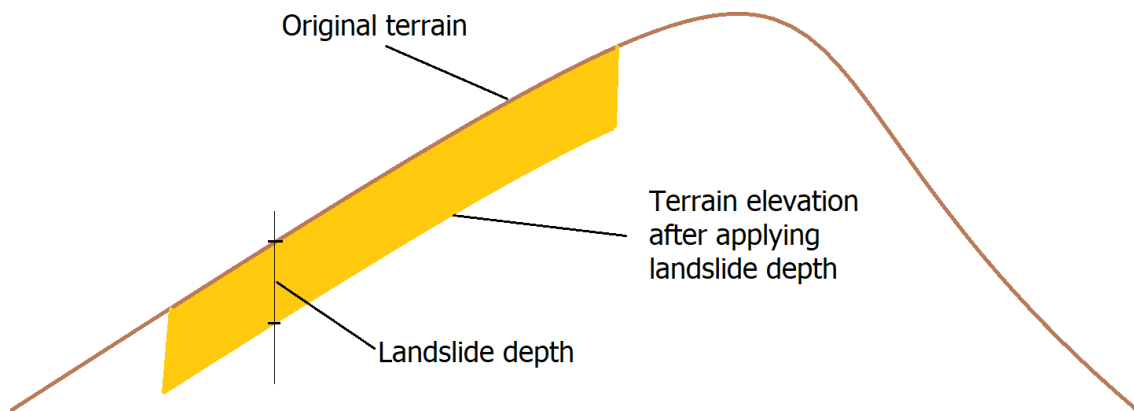


### 4.7.7 Herramientas



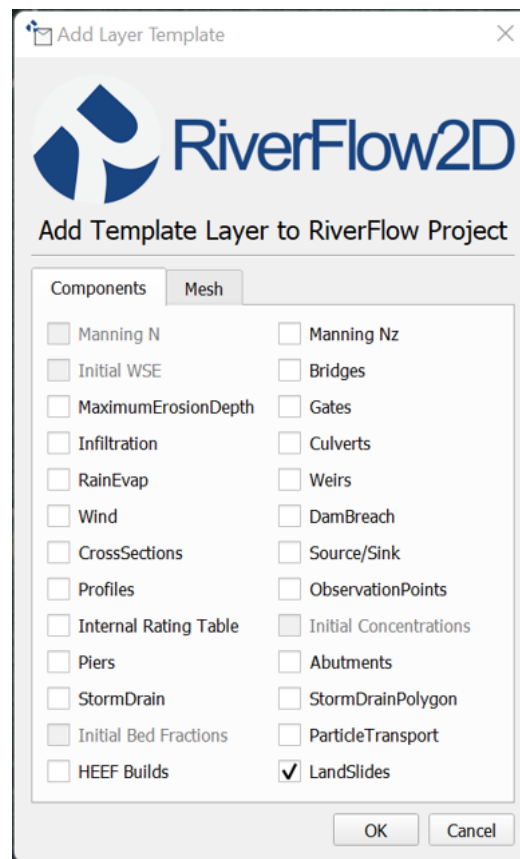
#### 4.7.7.1 Herramienta de deslizamientos

La herramienta Landslide permite representar el volumen inicial de material que podría movilizarse durante un deslizamiento. La herramienta requiere crear uno o más polígonos en la capa Landslide e indicar la profundidad o el volumen del material y la concentración de las clases de sedimentos que forman este material. Con esta información, el modelo supondrá que, bajo el polígono indicado, el material hasta la profundidad indicada podría fluir en función de las demás condiciones del modelo.



**Figura 4.17** – Vista esquemática del deslizamiento.

Para introducir los datos, primero cree la capa *LandSide*.



**Figura 4.18** – Adición de la capa LandSlides.

A continuación, dibuje un polígono e introduzca la profundidad o el volumen y las concentraciones de las clases de sedimentos como se indica en los diálogos:

**Landslides - Feature Attributes**

General Initial Concentrations

Landslide (ID) : LANDSLIDE\_2

**Parameter that defines the landslide**

☒ Depth (m) 2.5

☐ Volume (m3) 30908.72

OK Cancel

**Figura 4.19** – Atributos de profundidad o volumen del deslizamiento.

**Landslides - Feature Attributes**

General Initial Concentrations

Initial Concentration File LANDSLIDE\_1.txt Import Initial Concentration File

Add Sediment Class : + Remove Sediment Class -

|   | 1   | 2    |
|---|-----|------|
| 1 | 0.2 | 0.33 |

OK Cancel

**Figura 4.20** – Concentración de todas las clases que forman el material del deslizamiento.

Cuando el usuario proporciona la profundidad, todas las celdas contenidas en los polígonos del deslizamiento cambiarán de la siguiente manera:

- La elevación de la celda será igual a la elevación original del terreno menos la profundidad indicada.
- La elevación inicial del agua o del material será igual a la elevación original del terreno.

Cuando el usuario proporciona el volumen, el modelo calcula un área media del deslizamiento como  $\text{profundidad} = \text{Volume/Polygon area}$ , y todas las celdas contenidas en los polígonos del deslizamiento cambiarán como se indicó anteriormente. Todos los cambios del terreno se transfieren al archivo .FED que contiene los datos de la malla y las elevaciones de las celdas.

Tenga en cuenta que *Read initial water elevs. from FED file* debe estar seleccionado en el panel DIP Control Data.

# 5

## Modelo hidrodinámico

Los modelos hidráulicos unidimensionales no son adecuados para simular inundaciones cuando los flujos no están confinados o las velocidades cambian de dirección durante el transcurso del hidrograma. El costo de los modelos numéricos tridimensionales no simplificados puede evitarse utilizando las ecuaciones bidimensionales (2D) de aguas someras promediadas en profundidad.

Al trabajar con las ecuaciones de aguas someras, las aplicaciones realistas siempre incluyen términos fuente que describen la variación del nivel del lecho y la fricción del lecho que, si no se discretizan correctamente, pueden provocar inestabilidades numéricas. En la última década, el esfuerzo principal se ha centrado en mantener un equilibrio discreto entre los flujos y los términos fuente en casos de agua en reposo, lo que ha dado lugar a la noción de esquemas bien equilibrados o propiedad C [1, 2, 3]. Recientemente, para incluir correctamente el efecto de los términos fuente en la solución débil, se han presentado solucionadores de Riemann aproximados aumentados [Rosatti et al. (2003), 4]. De este modo, se pueden calcular soluciones precisas evitando la necesidad de imponer parámetros de ajuste dependientes del caso, que se utilizan con frecuencia para evitar valores negativos de la profundidad del agua y otras inestabilidades numéricas que aparecen al incluir términos fuente.

Esta sección presenta el sistema de ecuaciones, la formulación de las condiciones de contorno y el esquema de volúmenes finitos utilizado en RiverFlow2D; la información puede ampliarse en las referencias.

### 5.1 Supuestos del modelo hidrodinámico

1. RiverFlow2D utiliza las ecuaciones de aguas someras resultantes de la integración vertical de la ecuación de Navier-Stokes. Por lo tanto, el modelo no calcula aceleraciones verticales ni velocidades verticales y, en consecuencia, no puede resolver flujos secundarios.
2. Se supone que el esfuerzo cortante del lecho sigue las direcciones de la velocidad promediada en profundidad.



3. El modelo no incluye términos de dispersión ni de turbulencia. La disipación de la turbulencia y las pérdidas de energía se tienen en cuenta únicamente mediante el término  $n$  de Manning en las ecuaciones de cantidad de movimiento.
4. El modelo puede considerar la transferencia de calor para calcular la temperatura del aceite mientras fluye sobre el terreno, y considera la variación de la densidad, la viscosidad y el esfuerzo de fluencia en el tiempo y el espacio.

## 5.2 Ecuaciones del flujo considerando variaciones de temperatura prescritas

Los flujos de aguas someras pueden describirse matemáticamente mediante ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento promediadas en profundidad, con todos los supuestos asociados. Este sistema de ecuaciones diferenciales parciales se formulará aquí en forma conservativa de la siguiente manera:

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

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

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

donde  $g$  es la aceleración de la gravedad. Los términos  $\frac{1}{2}gh^2$  de los flujos se han obtenido suponiendo una distribución hidrostática de la presión en cada columna de agua, como se acepta habitualmente en los modelos de aguas someras. El vector de términos fuente incorpora el efecto de la fuerza de presión sobre el lecho y de las fuerzas tangenciales generadas por el esfuerzo del lecho

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

donde las pendientes del lecho del nivel inferior  $z_b$  son

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

y la contribución del esfuerzo del lecho se modela mediante la ley de fricción de Manning, de modo que:

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

con  $n$  el coeficiente de rugosidad.

Mediante esta opción, el modelo puede considerar la variación de la temperatura y su efecto sobre la densidad y la viscosidad, pero se supone que la temperatura del aceite es prescrita por el usuario y no depende de los cambios ambientales durante la simulación.

//

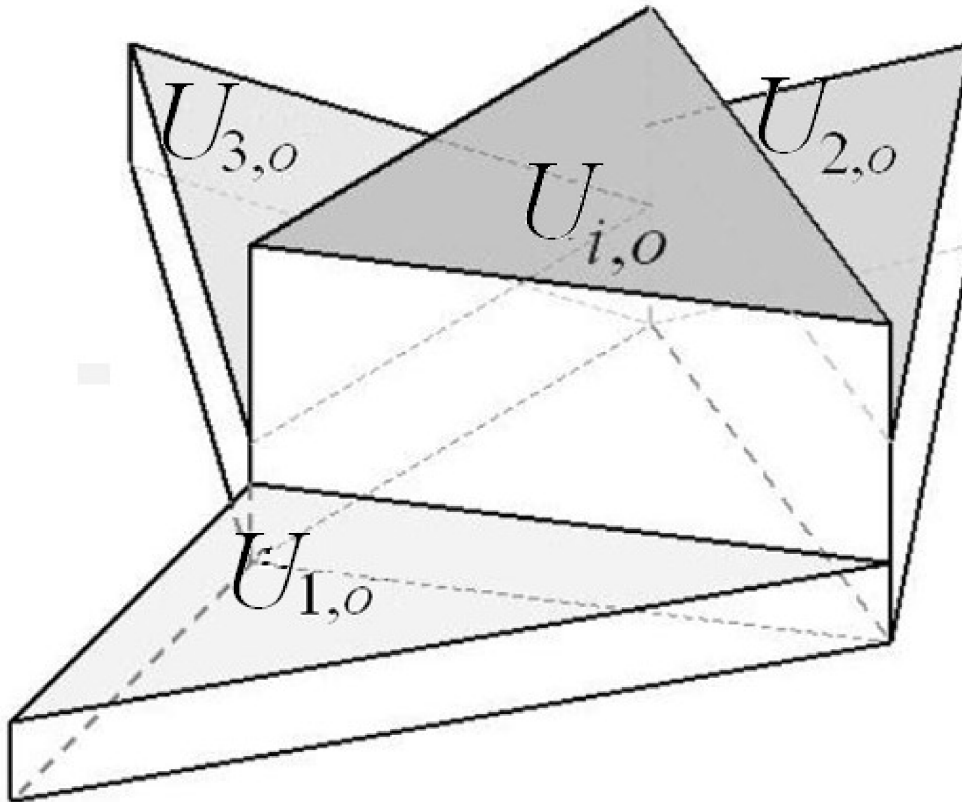
## 5.3 Solución numérica de volúmenes finitos

Para introducir el esquema de volúmenes finitos, se integra en un volumen o celda de la cuadrícula  $\Omega$  utilizando el teorema de Gauss:

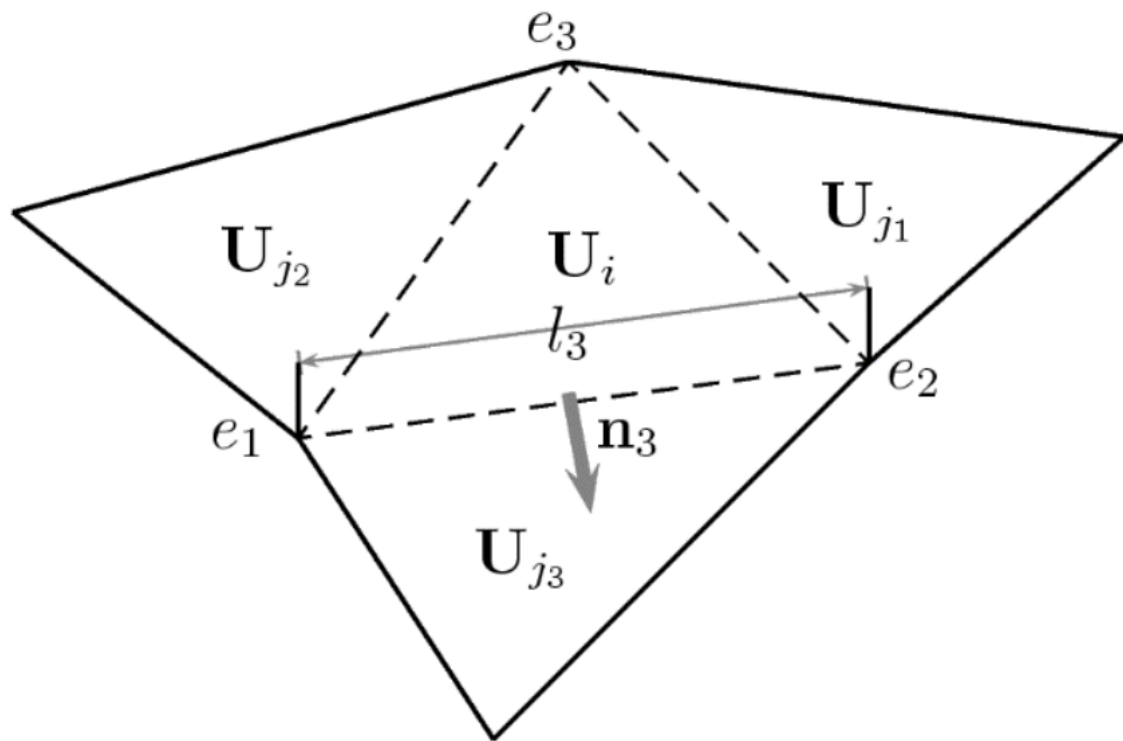
$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \mathbf{U} d\Omega + \oint_{\partial\Omega} \mathbf{E} \mathbf{n} dl = \int_{\Omega} \mathbf{S} d\Omega$$

donde  $\mathbf{E} = (\mathbf{F}, \mathbf{G})$  y  $\mathbf{n} = (n_x, n_y)$  es el vector normal unitario exterior al volumen  $\Omega$ . Para obtener una solución numérica del sistema, el dominio se divide en celdas computacionales,  $\Omega_i$ , utilizando una malla fija. Suponiendo una representación por tramos de las variables conservadas y una formulación ascendente y unificada de los flujos y términos fuente

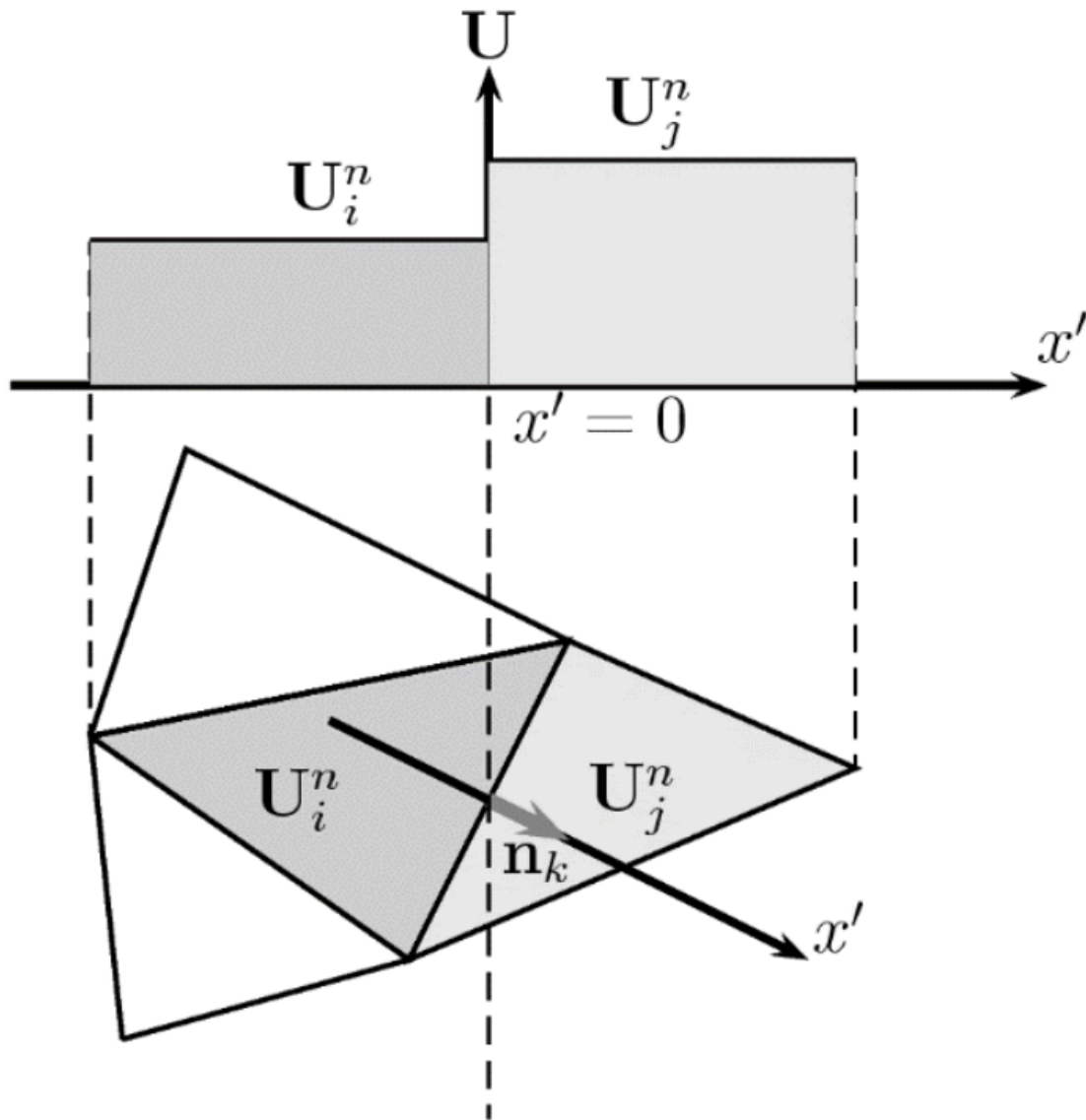
$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega_i} \mathbf{U} d\Omega + \sum_{k=1}^{NE} (\mathbf{E} \mathbf{n} - \mathbf{S})_k l_k = 0$$



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



**Figura 5.2** – Parámetros de la celda.



**Figura 5.3** – Parámetros de la celda.

La solución aproximada puede definirse utilizando una matriz jacobiana aproximada  $\tilde{\mathbf{J}}_{\mathbf{n},k}$  del flujo normal no lineal  $\mathbf{E}_{\mathbf{n}}$  y dos matrices aproximadas  $\tilde{\mathbf{P}} = (\tilde{\mathbf{e}}^1, \tilde{\mathbf{e}}^2, \tilde{\mathbf{e}}^3)$ , y  $\tilde{\mathbf{P}}^{-1}$ , construidas utilizando los eigenvectores de la jacobiana, que hacen diagonal a  $\tilde{\mathbf{J}}_{\mathbf{n},k}$

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

con  $\tilde{\Lambda}_k$  una matriz diagonal con eigenvalores  $\tilde{\lambda}_k^n$  en la diagonal principal

$$\tilde{\Lambda}_k = \begin{pmatrix} \tilde{\lambda}^1 & 0 & 0 \\ 0 & \tilde{\lambda}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \tilde{\lambda}^3 \end{pmatrix}_k$$

Tanto la diferencia en el vector  $\mathbf{U}$  a través del borde de la cuadrícula como el término fuente se proyectan sobre la base de eigenvectores de la matriz

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

donde  $\mathbf{A}_k = (\alpha^1, \alpha^2, \alpha^3)_k^T$  contiene el conjunto de intensidades de onda y  $\mathbf{B} = (\beta^1, \beta^2, \beta^3)_k^T$  contiene las intensidades de los términos fuente. Los detalles se proporcionan en. La linealización completa de todos los términos, combinada con la técnica ascendente, permite definir la función de flujo numérico  $(\mathbf{En} - \mathbf{S})_k$  como

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

con  $\tilde{\lambda}^- = \frac{1}{2}(\tilde{\lambda} - |\tilde{\lambda}|)$  y  $\theta_k^m = \left(1 - \frac{\beta}{\lambda \alpha}\right)_k^m$  que, al insertarse en, dan un método de Godunov explícito de primer orden

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

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

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

puede reescribirse como

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

El método de volúmenes finitos puede escribirse utilizando una formulación compacta de división de ondas de la siguiente manera:

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

con

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

El uso de es eficiente al trabajar con condiciones de contorno. Al mismo tiempo, garantiza la conservación. En se demostró que, para un esquema numérico escrito en forma de división, la cantidad total de contribuciones calculadas dentro del dominio en cada borde de celda es igual al balance de los flujos que atraviesan el límite del dominio, demostrando la conservación exacta.

### 5.3.1 Optimizaciones numéricas

Una vez calculadas las propagaciones de ondas en  $\delta \mathbf{M}_{i,k}^-$  en, el método de primer orden puede aplicarse promediando las contribuciones de los problemas de Riemann (RP) locales que conforman el contorno de la celda.

La solución aproximada siempre se construye como una suma de saltos o choques, incluso en casos que implican rarefacciones. Un problema ampliamente descrito de los solucionadores linealizados es la violación de la entropía en rarefacciones sónicas, que produce valores negativos de profundidad en las ecuaciones de aguas someras, incluso en ausencia de términos fuente. La solución se restablece mediante una redefinición adecuada de la solución aproximada por medio de correcciones de entropía.

La linealización temporal y espacial de los términos fuente en también puede tener consecuencias negativas, ya que pueden surgir inestabilidades numéricas al aproximar su valor. Su influencia sobre las soluciones aproximadas del RP es clave para construir correcciones apropiadas que eviten resultados no físicos. En se mostró cómo pueden evitarse los errores en los enfoques integrales realizados sobre los términos fuente si se imponen restricciones basadas en la física sobre la solución aproximada. Simplemente modificando los coeficientes de intensidad del término fuente  $\beta$ , se restauran las soluciones correctas cuando es necesario.

### 5.3.2 Región de estabilidad

Una vez aplicadas las correcciones numéricas, la región de estabilidad para el caso homogéneo puede utilizarse para calcular el tamaño del paso de tiempo. En el marco 2D, considerando mallas no estructuradas, la distancia relevante, que se denominará  $\chi_i$  en cada celda  $i$ , debe considerar el volumen de la celda y la longitud de los  $k$  bordes compartidos.

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

Considerando que cada RP  $k$  se utiliza para entregar información a un par de celdas vecinas de distinto tamaño, es relevante la distancia  $\min(A_i, A_j)/l_k$ . El paso de tiempo está limitado por

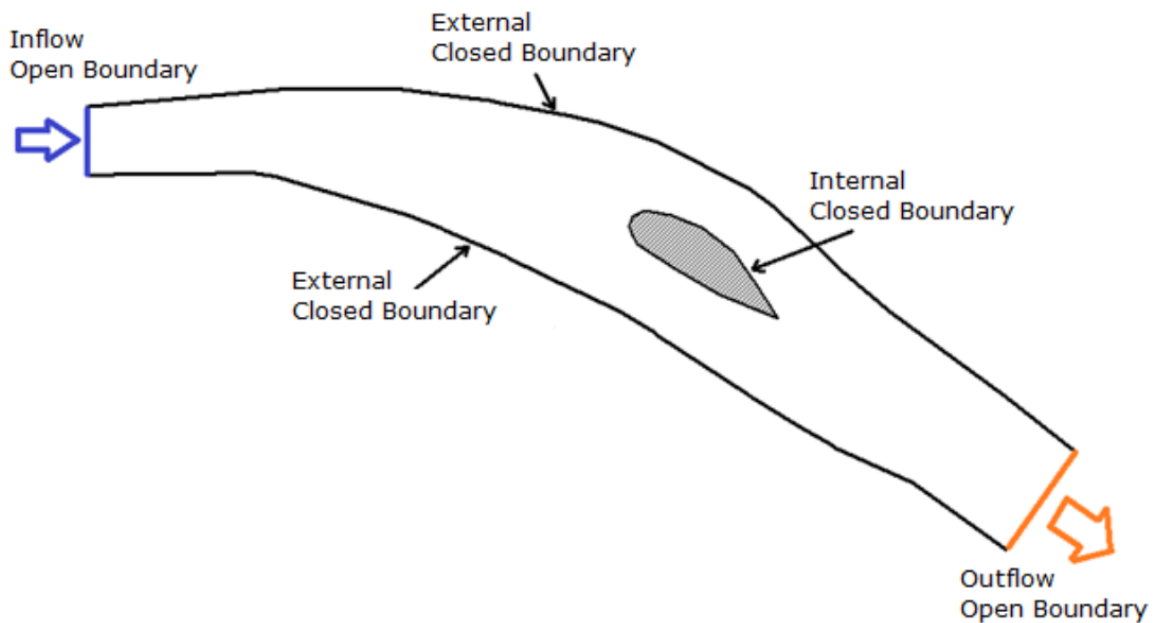
$$\Delta t \leq CFL \Delta t^{\tilde{\chi}} \quad \Delta t^{\tilde{\chi}} = \frac{\min(\chi_i, \chi_j)}{\max |\tilde{\chi}^m|}$$

con  $CFL=1/2$ , ya que la construcción de esquemas de volúmenes finitos mediante la aplicación directa de flujos unidimensionales conduce a rangos de estabilidad reducidos.

El método de solución de RiverFlow2D utiliza pasos de tiempo variables. El paso de tiempo máximo permitido está controlado por el número de Courant-Friederich-Lewy (CFL) establecido por el usuario, que es proporcional al tamaño local de la celda, pero también inversamente proporcional a la velocidad y la profundidad. Las celdas más pequeñas conducen a pasos de tiempo más pequeños. El valor teórico máximo de CFL es 1, pero en algunas ejecuciones puede ser necesario reducir este número a valores menores.

## 5.4 Condiciones de contorno abiertas

Hay dos tipos principales de condiciones de contorno que pueden utilizarse en RiverFlow2D: contornos abiertos, donde el flujo puede entrar o salir del área de modelización, y contornos cerrados, que son paredes sólidas sin flujo. No hay restricción en el número de contornos de entrada o salida. Esta sección describe las condiciones de contorno abiertas.



**Figura 5.4** – Condiciones de contorno abiertas y cerradas.

RiverFlow2D permite tener cualquier número de contornos de entrada y salida con diversas combinaciones de condiciones impuestas. El uso adecuado de estas condiciones es un componente crítico de una simulación exitosa de RiverFlow2D. La teoría de las ecuaciones de aguas someras indica que, para un flujo subcrítico bidimensional, se requiere proporcionar al menos una condición en los contornos de entrada y una en los contornos de salida. Para un flujo supercrítico, todas las condiciones deben imponerse en los contornos de entrada y no debe imponerse ninguna condición de contorno en los contornos de salida. La tabla siguiente ayuda a determinar qué condiciones utilizar en la mayoría de las aplicaciones.

- **Subcritical:** Q or Velocity; Water Surface Elevation
- **Supercritical:** Q and Water Surface Elevation; None

#### Nota

Se recomienda tener al menos un contorno donde se prescriba Water Surface Elevation o stage-discharge (por ejemplo, Uniform Flow). Tener únicamente discharge y ninguna condición de Water Surface Elevation puede provocar inestabilidades debido a la violación de los requisitos teóricos de las condiciones de contorno de las ecuaciones de aguas someras.

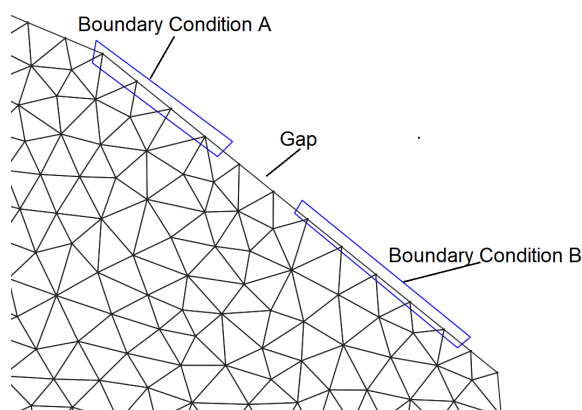
Las opciones de condiciones de contorno abiertas se describen en la tabla siguiente.

& Impone Water Surface Elevation. Debe proporcionarse un archivo de condición de contorno asociado. - **5:** Impone el caudal de agua y Water Surface Elevation. - **6:** Impone el caudal de entrada de agua. - **9:** Impone una tabla de clasificación stage-discharge de valor único. - **10:** Condición de entrada o salida "Free". El modelo calcula las velocidades y las elevaciones de la superficie del agua. - **11:** Condición de salida "Free". El modelo calcula las velocidades y las elevaciones de la superficie del agua, pero solo se permite el flujo hacia el exterior. - **12:** Condición de salida Uniform Flow. & Impone Water Surface Elevation y fuerza direcciones de velocidad perpendiculares.

Debe proporcionarse un archivo de condición de contorno asociado. - **18:** Impone Water Surface Elevation y concentraciones de sedimentos o contaminantes. También fuerza direcciones de velocidad perpendiculares. Debe proporcionarse un archivo de condición de contorno asociado. - **26:** Impone el caudal de entrada de agua y sedimentos. Debe proporcionarse un archivo de condición de contorno asociado.

#### Nota

Si es necesario imponer condiciones abiertas en segmentos de contorno adyacentes, hágalo de modo que cada segmento esté separado por un espacio de más de una celda. Establecer dos o más condiciones abiertas sin esta separación provocará una detección incorrecta de los contornos abiertos.



**Figura 5.5** – Espacio requerido entre condiciones de contorno abiertas adyacentes.

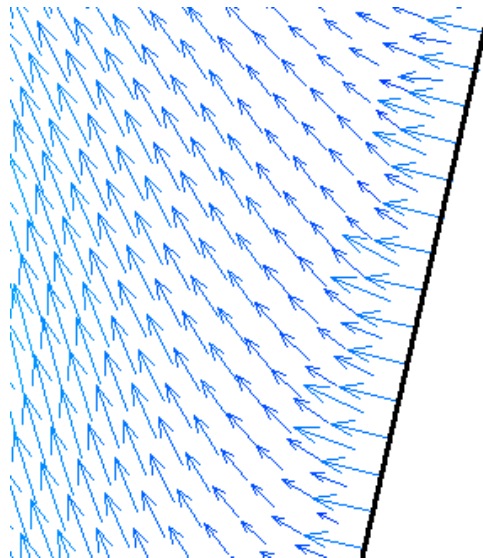
### 5.4.1 Tipos de condiciones de contorno de variable única (BCTYPE 1 y 6)

Al imponer una sola variable (elevación de la superficie del agua o  $Q$ ), el usuario debe proporcionar una serie temporal para la variable correspondiente. Para modelar un estado estacionario, la serie temporal debe contener valores constantes para todos los tiempos. No hay restricción sobre el intervalo de tiempo utilizado para la serie temporal. Al imponer la elevación de la superficie del agua, es importante comprobar que el valor impuesto sea superior a la elevación del lecho.

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

En esta condición de entrada, el programa calcula el área de flujo y la velocidad media del agua correspondiente al caudal impuesto, que puede variar con el tiempo. A continuación, la velocidad se asigna a cada celda suponiendo una dirección perpendicular a la línea de contorno, como se muestra:





**Figura 5.6** – Caudal de entrada de agua impuesto como velocidades (BCTYPE 6).

### 5.4.2 Tabla de clasificación de caudales (BCTYPE 9)

Cuando se utiliza una condición stage-discharge de valor único, el modelo calcula primero el caudal en el contorno, luego interpola la elevación correspondiente de la superficie del agua a partir de la tabla de clasificación e impone ese valor para el paso de tiempo siguiente. Si el contorno está seco, funciona como un contorno con condición “Free”. Las elevaciones de la superficie del agua se imponen únicamente en los nodos mojados. Esta condición requiere proporcionar un archivo ASCII con las entradas de los valores de la tabla. Véase la sección para obtener detalles sobre el formato del archivo.

Dado que estas condiciones pueden generar reflexiones de ondas que se propaguen aguas arriba, es importante ubicar el contorno aguas abajo en un tramo suficientemente alejado del área de interés, minimizando así los efectos artificiales de remanso. Desafortunadamente, no existe una forma general de seleccionar dicho lugar, pero será necesario experimentar numéricamente con el modelo real para lograr una ubicación razonable.

#### **Nota**

En la mayoría de los ríos de poca pendiente, la relación stage-discharge está afectada por histéresis. En otras palabras, la curva stage-discharge forma un bucle, con caudales mayores en la rama ascendente que en la rama de recesión del hidrograma. Esto se debe principalmente al gradiente de profundidad en la dirección del flujo, que cambia de signo a lo largo del hidrograma. En la práctica, esto implica que puede haber dos niveles posibles para el mismo caudal. Las relaciones stage-discharge en bucle no se consideran en esta versión de River-Flow2D.

### 5.4.3 Contornos abiertos “Free” (BCTYPE 10, 11)

En los contornos con condición Free, el modelo calcula las velocidades y las elevaciones de la superficie del agua aplicando las ecuaciones completas a partir de las celdas internas. En la práctica, esto equivale a suponer que las derivadas de las elevaciones de la superficie del agua y de las velocidades son 0. En situaciones de flujo subcrítico, es aconsejable utilizar estas condiciones únicamente cuando haya al menos otro contorno abierto donde se imponga la elevación de la superficie del agua o stage-discharge. BCTYPE 10 permite la salida y la entrada de agua, mientras que BCTYPE 11 solo permite que el flujo salga de la malla.

### 5.4.4 Condición de contorno Uniform Flow (BCTYPE 12)

Para aplicar esta condición de contorno, el usuario proporciona únicamente la pendiente del lecho  $S_0$ . El modelo utilizará  $S_0$ , el  $n$  de Manning y el caudal para crear una tabla de clasificación. Después, para cada intervalo de tiempo, el programa impondrá la elevación de la superficie del agua correspondiente al caudal del contorno, interpolando en la tabla de clasificación. La tabla de clasificación se calcula cada 0.05 m (0.16 ft.) comenzando desde la elevación mínima del lecho en la sección transversal de salida hasta 50 m (164 ft.) por encima de la elevación máxima del lecho en la sección. Si  $S_0 = -999$ , el modelo calculará la pendiente media del lecho perpendicular a la línea de contorno.

### 5.4.5 Implementación numérica de los contornos abiertos

Muchos modelos de simulación se basan en esquemas numéricos fiables y conservativos. Al intentar ampliar su aplicación a problemas realistas que implican geometrías irregulares en los contornos, se debe prestar especial atención a preservar las propiedades del esquema original. La conservación, en particular, se deteriora si los contornos se discretizan sin cuidado.

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

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

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

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

con  $c_i = \sqrt{gh_i}$ . Cuando el número de Froude definido en es mayor que uno, el flujo es supercrítico y todos los eigenvalores siguientes son negativos:

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

por lo tanto, deben imponerse los valores de  $h$ ,  $u$ ,  $v$  y  $\phi$ . La concentración de soluto del agua  $\phi$  es independiente de los eigenvalores y, por lo tanto, debe proporcionarse en la región de entrada para todos los regímenes de flujo.

Las celdas de la región de caudal de salida se definen mediante

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

para flujo supercrítico, todos los eigenvalores siguientes son positivos:

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

en consecuencia, no se requiere información adicional.

Cuando en las regiones de caudal de entrada y salida el flujo es subcrítico, la información de actualización no está completa. Lo mismo ocurre en los bordes de celda que actúan como paredes sólidas, que no pueden ser atravesadas por el flujo. Habitualmente, la información adicional proporcionada aguas arriba y aguas abajo son funciones de caudal. Y, en los contornos sólidos, se define una función de caudal normal cero.

Decidir si una entrada o salida es supercrítica o subcrítica no es fácil en una malla 2D. Una caracterización basada en celdas del régimen de flujo en los contornos conduce a situaciones complicadas tanto desde el punto de vista físico como numérico. Por otro lado, las condiciones de contorno físicas o externas suelen referirse a cantidades medias, como el nivel de la superficie del agua o el caudal total, que deben traducirse a profundidad del agua o velocidad en cada celda, dependiendo del criterio del especialista. Para manejar estas situaciones, se requiere una conexión adecuada entre los modelos bidimensionales y unidimensionales en los contornos abiertos. El número de Froude de la sección se define una vez que la sección de contorno tiene un nivel de agua uniforme:

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

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

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

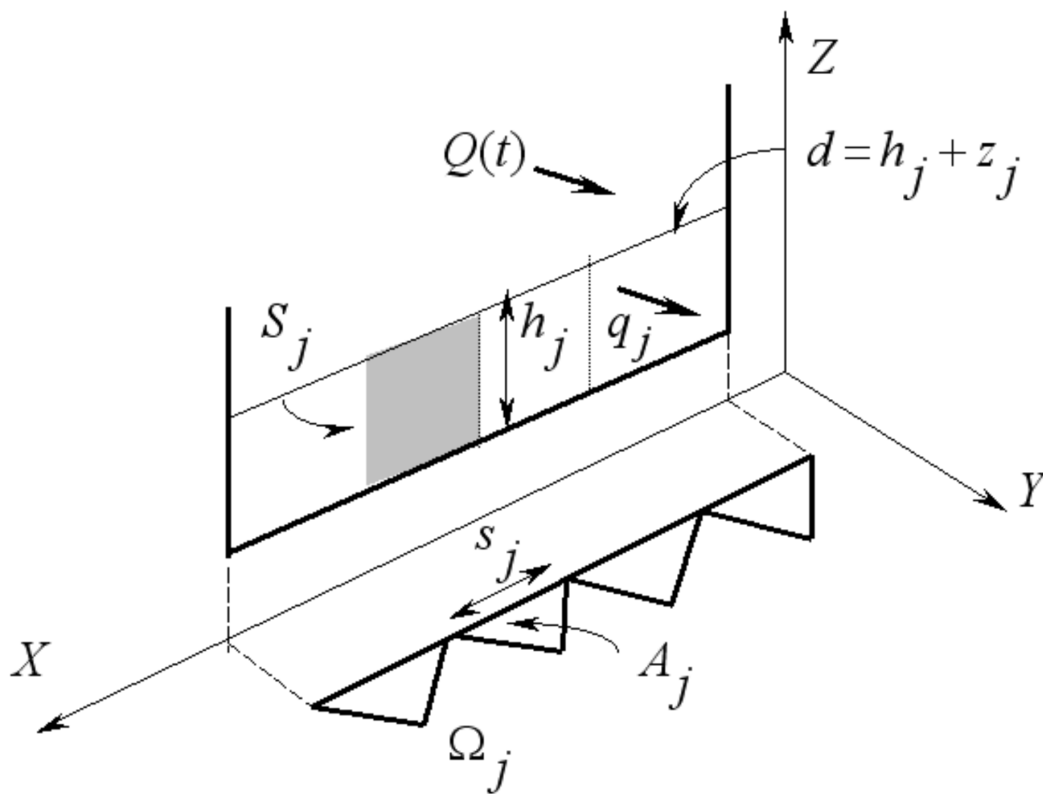
donde  $NB$  es el número de celdas de contorno mojadas,  $l_j$  es la longitud de cada borde que conforma el contorno mojado y  $h_j$  es la profundidad del agua en cada celda de contorno.

#### 5.4.5.1 Contorno de caudal de entrada

Esta es una de las condiciones de contorno que plantea mayores dificultades, porque debe definirse una representación correcta y conservativa del flujo entrante estacionario o no estacionario, y no existe una forma obvia única de implementarla. El hidrograma de caudal de entrada total  $Q = Q(t)$  es la función habitual proporcionada en las simulaciones de inundación, y es importante analizar la mejor forma de imponerlo, ya que involucra toda la sección transversal de entrada y se trabaja con una representación 2D discreta en celdas computacionales. Pueden encontrarse distintos casos.

#### 5.4.5.2 Casos simples

Cuando la sección transversal de entrada tiene forma rectangular, es decir, un fondo plano y limitada por paredes verticales, la sección transversal de entrada mojada es simplemente rectangular.



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

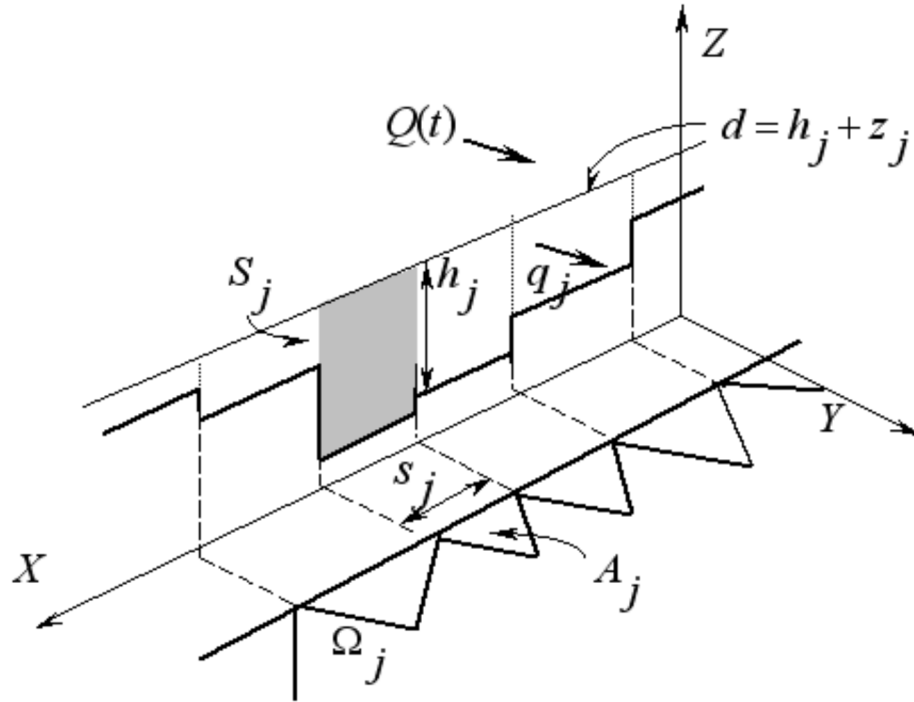
El caudal total de entrada en el tiempo  $t$ ,  $Q_I(t)$ , puede distribuirse a lo largo de la sección transversal de entrada utilizando un caudal constante por unidad de ancho,  $q_I(m^2s^{-1})$ , que puede calcularse como

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

En este caso simple,  $q_I$  es uniforme a lo largo del contorno de entrada, al igual que el módulo resultante de la velocidad,  $w = q_I/h$ , con  $w = (u^2 + v^2)^{1/2}$ . Cabe señalar que la dirección del caudal entrante no es necesariamente la misma que la dirección normal al contorno de entrada. Sin embargo, esta dirección suele elegirse como información predeterminada.

#### 5.4.5.3 Casos complejos

En problemas reales de geometría general, la sección transversal de entrada puede cambiar de forma a medida que cambia el nivel del agua (contorno de secado/mojado), y también cambia el número de celdas de contorno involucradas.



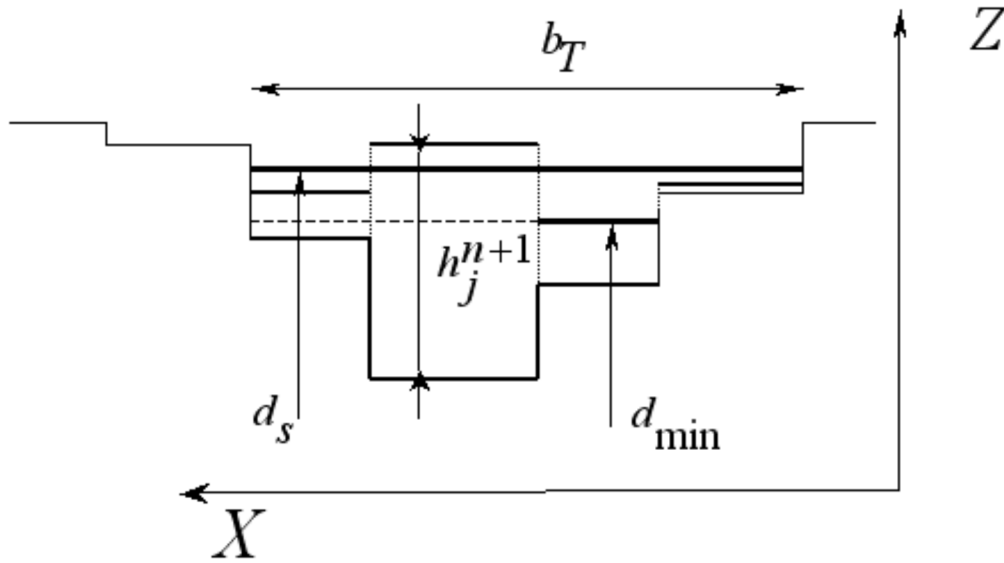
**Figura 5.8** – Sección transversal de entrada irregular.

Al trabajar con secciones de entrada como la de la Figura , un valor uniforme de  $q_I$  como el de conduce a un estado completamente irrealista, con agua más rápida en los bordes de la sección y más lenta en el centro de la sección transversal. Como las velocidades resultantes dependen del valor de la profundidad del agua  $h$ , aparecerán valores mayores en aquellas celdas donde la profundidad del agua sea menor.

Para buscar una distribución más adecuada, se impone un módulo uniforme de la velocidad del agua  $w$  en toda la sección transversal del contorno de entrada. En este caso, el caudal unitario en cada celda de contorno  $j$  es variable y se define dependiendo tanto del área total de la sección transversal,  $S_T$ , como del área transversal de cada celda individual,  $S_j$ , de la siguiente manera:

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

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



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

Para nuestros fines, se requiere un nivel horizontal de la superficie del agua en esa región, con el fin de facilitar la traducción entre los puntos de vista 2D y 1D en el contorno abierto. El valor de ese nivel uniforme de agua de la sección transversal se fija teniendo en cuenta la conservación de la masa, es decir, la redistribución conservativa del volumen de agua. Se encuentra el valor mínimo de los niveles de agua entre todas las celdas mojadas del contorno de entrada,  $d_{min}$ , y se evalúa el volumen de agua  $V_S$  almacenado en la sección de entrada por encima de  $d_{min}$  como

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

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

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

Estos valores se utilizan para redistribuir el volumen sobre la sección de entrada, manteniendo constante el ancho de la sección mojada  $b_T$ . Como muestra la Figura 3, se obtiene un nuevo nivel uniforme del agua en la sección,  $d_s$ , mediante:

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

Además de ayudar a decidir el régimen de flujo en el contorno, las modificaciones descritas anteriormente facilitan el tratamiento de las condiciones de entrada supercríticas. Al modelar un flujo fluvial no estacionario, pueden encontrarse picos altos en el hidrograma. Si esos picos no se manejan correctamente desde el punto de vista numérico, pueden dar lugar a estados supercríticos locales y poco realistas en el contorno de entrada.

En ese caso de flujo de entrada supercrítico, es necesario especificar todas las variables en las celdas del contorno de entrada. Sin embargo, en muchos problemas prácticos solo se dispone del

hidrograma de caudal como función del tiempo, sin datos, por lo general, sobre la distribución del nivel del agua o la dirección del caudal en el contorno de entrada.

La alternativa propuesta consiste, cuando el número de Froude de entrada es mayor que 1

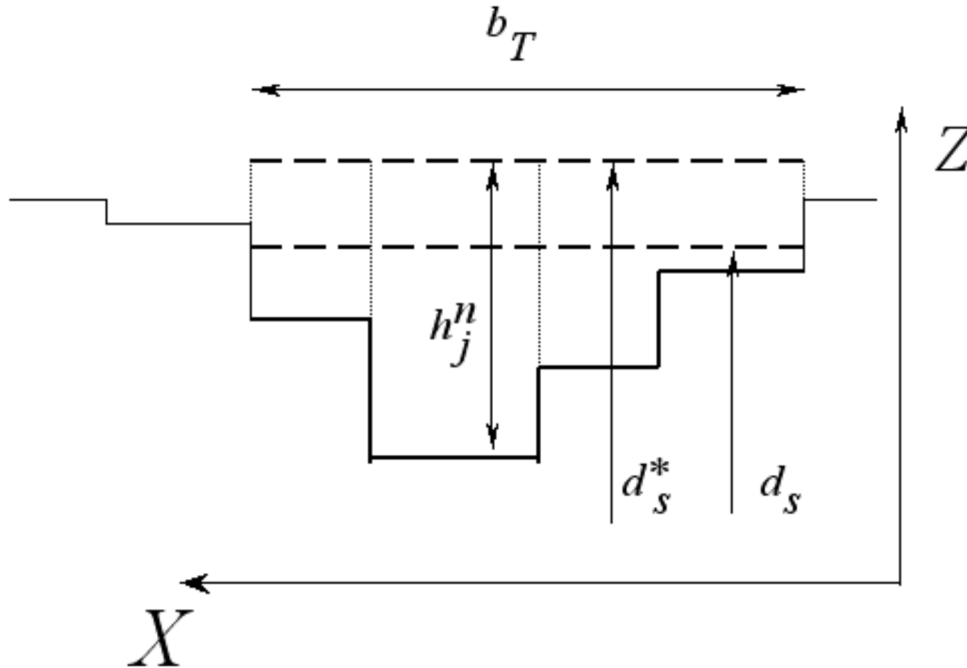
$$Fr_s = \frac{w}{\sqrt{g(S_T/b_T)}} > 1$$

en imponer un número de Froude máximo,  $Fr_{s,max}$ , al flujo de entrada. Para ello, manteniendo el ancho de la sección  $b_T$ , se calcula una nueva área de la sección transversal mojada de entrada,  $S_T^*$ , a partir del  $Fr_{s,max}$  impuesto:

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

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  $d_s$ . El incremento asociado en el volumen de agua se equilibra mediante una reducción del caudal impuesto  $Q_I(t)$  en ese paso de tiempo.

En ocasiones, ambas condiciones,  $Q_I(t)$  y  $d(t)$ , se conocen en entradas supercríticas. En esos casos, imponer ambos datos en el contorno de entrada es suficiente. Sin embargo, debido al método de integración temporal discreta utilizado, este procedimiento no sigue el criterio de conservación de la masa. Para garantizar que se conserve el balance de masa, se impone una de las condiciones y se modifica la otra, de modo que los flujos calculados en el paso siguiente conduzcan a la conservación de la masa. La mejor solución es imponer directamente el nivel global de la superficie del agua en la sección del contorno de entrada,  $d(t)$ , y adaptar el caudal de entrada discreto para garantizar que se conserve el volumen final. El valor impuesto de  $d$  establece un volumen de entrada que puede transformarse en caudal dividiéndolo por el paso de tiempo. Este valor se suma al caudal, lo que conduce a un balance de masa correcto.



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

Cuando la celda de contorno pertenece a un contorno abierto donde se impone el caudal de entrada y el flujo es subcrítico, el caudal se calcula utilizando y se impone en la celda de contorno. Además, el nivel del agua se calcula como resultado de las contribuciones de los otros bordes de celda en al actualizar los valores conservados de la celda de contorno en el nivel de tiempo  $n + 1$ , y se redistribuye cuidadosamente como se explicó anteriormente.

#### 5.4.5.4 Contornos de salida

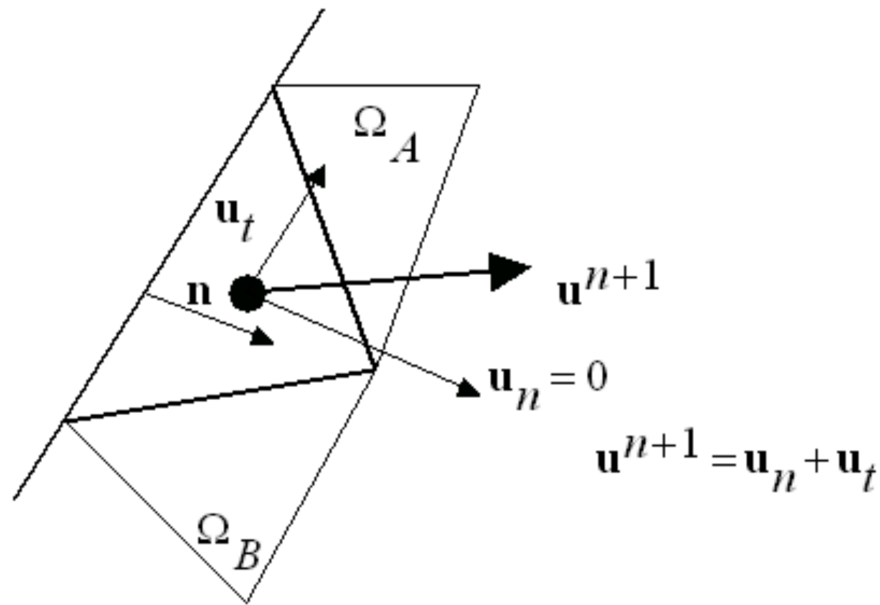
El análisis del flujo en el contorno de salida es más sencillo. Para una salida supercrítica no es necesario imponer condiciones externas. En RiverFlow2D, se realiza un barrido preliminar sobre las celdas mojadas del contorno de salida para evaluar el número de Froude de la celda. Si se encuentra una celda supercrítica, todo el flujo de la sección del contorno de salida se considera supercrítico y no es necesario imponer ninguna condición externa. De lo contrario, todas las celdas se encuentran en estado subcrítico y reciben un tratamiento análogo al del contorno de entrada descrito anteriormente. Como antes, se genera un nivel uniforme de agua en la sección transversal y se establece una distribución de velocidades en los casos en que una curva de clasificación de caudales es la condición de contorno que debe imponerse.

#### 5.4.6 Contornos cerrados

Los contornos cerrados son paredes rígidas o sólidas que bloquean completamente el flujo, como las orillas de los ríos o las islas. Constituyen paredes verticales que el flujo nunca puede sobrepasar. Cerca de estos contornos existe una subcapa viscosa muy delgada que requeriría celdas extremadamente pequeñas para resolverse adecuadamente. RiverFlow2D utiliza una condición de deslizamiento en los contornos cerrados y el modelo establecerá un flujo normal cero a través del contorno, pero permitirá velocidades tangenciales. RiverFlow2D detecta automáticamente los contornos cerrados.

Este tipo de condición de contorno no requiere ningún tratamiento especial. Como ningún flujo debe atravesar el contorno, la condición física  $\mathbf{u} \cdot \mathbf{n} = 0$  se impone sobre la velocidad de celda  $\mathbf{u}$  después de añadir todas las contribuciones de ondas del resto de los bordes de la celda, donde  $\mathbf{n}$  es la normal a la pared sólida. En otras palabras, si el contorno está cerrado, el borde de celda asociado  $k_\Gamma$  es una pared sólida, con una componente de velocidad normal cero. Como no hay contribuciones de ese borde, se establece  $\delta \mathbf{M}_{i,k_\Gamma}^- = 0$  en al actualizar los valores conservados de la celda de contorno en el nivel de tiempo  $n + 1$ .





**Figura 5.11** – Condición de pared sólida.

## 5.5 Modelado de celdas secas/mojadas

RiverFlow2D puede simular el secado y el mojado del lecho. Esta capacidad del modelo es importante al simular la propagación de una onda de inundación por un cauce inicialmente seco. En este caso, tanto el lecho del cauce como la llanura de inundación se inundarán. El lecho del cauce también puede volver a secarse cuando la onda de inundación retrocede.

En RiverFlow2D, la malla de celdas triangulares puede cubrir áreas secas y mojadas, y el modelo manejará estas condiciones utilizando dos algoritmos distintos y dependiendo de la siguiente clasificación de celdas.

### 5.5.1 Definiciones de celdas basadas en condiciones secas y mojadas

Una celda se considera seca si su profundidad de agua es inferior a una fracción de milímetro. No existe una situación de celda parcialmente seca. Un borde de celda se considera inactivo si separa dos celdas secas y se excluye del cálculo. De lo contrario, el borde de celda siempre contribuye a la actualización de las variables en ambos lados. La denominada situación seca/mojada tiene lugar en un borde de celda cuando se cumplen todas las condiciones siguientes:

- Una de las celdas vecinas está mojada y la otra está seca.
- El nivel del agua en la celda mojada está por debajo del nivel del lecho en la celda seca.
- El flujo es subcrítico.

En ese caso, el procedimiento que debe seguirse está bien descrito en.

El algoritmo de secado y mojado de RiverFlow2D es una adaptación del propuesto originalmente por y mejorado posteriormente por y en el contexto de volúmenes finitos, y funciona de la siguiente manera:

1. Al comienzo de cada paso de tiempo, todas las celdas se clasifican como mojadas o secas de acuerdo con la definición.
2. Si una celda está seca y completamente rodeada de celdas secas, se elimina de los cálculos y las componentes de velocidad se establecen en cero durante el paso de tiempo en curso.
3. Todos los bordes de celda internos se clasifican como activos o inactivos de acuerdo con la definición.
4. Las contribuciones de los bordes de celdas secas/mojadas se calculan suponiendo que el borde es un contorno sólido y que las velocidades a ambos lados se establecen en cero.
5. El resto de las contribuciones de los bordes de celda se calcula de acuerdo con el esquema numérico descrito anteriormente.
6. Las celdas mojadas y las celdas secas rodeadas por al menos una celda mojada se mantienen en el cálculo y se resuelven con el esquema de actualización utilizando las contribuciones de los bordes de celda.

Este método genera soluciones numéricas estables sin velocidades espurias sobre áreas secas y ofrece errores de conservación de masa cercanos a la precisión de máquina, permitiendo utilizar la condición CFL clásica.

## 5.6 Conservación de volumen

La conservación de volumen o balance de volumen en el dominio de simulación puede definirse mediante una integral de contorno del caudal:

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

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 en las paredes sólidas es cero. Este balance se evalúa integrando en el contorno, celda por celda, de la siguiente manera

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

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

La variación de volumen en el dominio de cálculo solo puede deberse a

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

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

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

con la cantidad total de agua existente en el tiempo  $t$

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

de la siguiente manera

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

Esto suele expresarse en términos relativos de la siguiente manera:

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

## 5.7 Coeficientes de rugosidad $n$ de Manning

El  $n$  de Manning que normalmente se estima para determinar las pérdidas de carga en el flujo de canales y ríos es una medida global que tiene en cuenta no solo los efectos de la rugosidad del lecho, sino también la fricción interna y las variaciones en la forma y el tamaño de la sección transversal del canal, las obstrucciones y la sinuosidad del río (Ven Te Chow, 1959). Por lo tanto, las estimaciones de  $n$  de Manning aplicables a modelos 1D deben ajustarse, porque las ecuaciones de los modelos 2D consideran el intercambio bidimensional de cantidad de movimiento dentro de la sección transversal, que en la simplificación 1D se concentra en un único valor. Varios investigadores han encontrado en aplicaciones prácticas de modelos 2D que los valores de  $n$  requeridos pueden ser un 30% menores que los utilizados normalmente para modelos 1D en el mismo tramo de río (Belleudy, 2000). Sin embargo, los modelos 2D no tienen en cuenta la fricción lateral; por lo tanto, la selección final de los coeficientes  $n$  de Manning debe ser el resultado de un proceso de calibración en el que los resultados del modelo se ajusten a datos medidos.

# 6

## Módulo de transporte de sedimentos: ST

La ciencia del transporte de sedimentos estudia la interrelación entre el agua en movimiento y las partículas de sedimento. A pesar de que se ha estudiado desde la década de 1950 y se emplea ampliamente en la práctica de la ingeniería, el modelado del transporte de sedimentos sigue siendo actualmente uno de los temas más activos en el campo de la investigación hidráulica. Aunque el modelado numérico de flujos de superficie libre con transporte en suspensión y por arrastre de fondo sobre un lecho erosionable en situaciones realistas implica flujo transitorio y fronteras de flujo móviles, los métodos convencionales y pioneros para realizar simulaciones morfodinámicas en zonas costeras y ríos desacoplan los componentes hidrodinámicos y de erosión y deposición. Ignorar los efectos hidrodinámicos no estacionarios significa que las escalas temporales de los cambios morfodinámicos son menores en comparación con las hidrodinámicas. Bajo esta hipótesis, solo puede modelarse razonablemente un proceso casi estacionario de arrastre de fondo que varía lentamente, por lo que quedan excluidos los flujos que varían rápidamente y contienen ondas de choque o discontinuidades. Por esta razón, RiverFlow2D permite simular con precisión desde eventos de evolución lenta hasta cambios abruptos del lecho del río.

### 6.1 Ecuaciones del modelo

La formulación relevante del modelo se deriva de las ecuaciones promediadas en profundidad que expresan la conservación del volumen de la mezcla de agua+sedimento, la conservación del volumen de sedimento y la conservación del momento de la mezcla de agua+sedimento. Los sedimentos pueden transportarse por arrastre de fondo o en suspensión. Este sistema de ecuaciones diferenciales parciales se formula aquí en forma acoplada de la siguiente manera

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

donde

$$\mathbf{U} = \begin{pmatrix} h \\ q_x \\ q_y \\ h\phi_1 \\ \vdots \\ h\phi_{N_p} \\ \sum_{p=1}^{N_p} z_p \end{pmatrix}^T$$

son las variables conservadas, donde  $h$  representa la profundidad del flujo de la mezcla,  $q_x = hu$  y  $q_y = hv$  son los caudales unitarios de la mezcla, siendo  $(u, v)$  las componentes promediadas en profundidad del vector de velocidad  $\mathbf{u}$  a lo largo de las coordenadas  $x$  e  $y$ , respectivamente, y  $\phi_p$ , con  $p = 1, \dots, N_p$ , representa la concentración volumétrica escalar promediada en profundidad de las  $N_p$  diferentes clases de tamaño de sedimento transportadas en suspensión. El término  $z_p$  es la contribución de la clase de sedimento  $p$  a la capa del lecho. Por tanto, la elevación total del lecho  $z$  puede calcularse como  $z = \sum_{p=1}^{N_p} z_p$ . La formulación permite considerar un suelo heterogéneo, donde pueden coexistir diferentes fracciones de sedimento.

Por otro lado, los flujos vienen dados por

$$\mathbf{F} = \begin{pmatrix} q_x \\ \frac{q_x^2}{h} + \frac{1}{2}gh^2 \\ \frac{q_x q_y}{h} \\ q_x \phi_1 \\ \vdots \\ q_x \phi_{N_p} \\ \sum_{p=1}^{N_p} (\xi_p q_{bp,x}) \end{pmatrix}^T$$

$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} q_y \\ \frac{q_x q_y}{h} \\ \frac{q_y^2}{h} + \frac{1}{2}gh^2 \\ q_y \phi_1 \\ \vdots \\ q_y \phi_{N_p} \\ \sum_{p=1}^{N_p} (\xi_p q_{bp,y}) \end{pmatrix}^T$$

donde  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $\xi_p = 1/(1 - p_p)$  tiene en cuenta el efecto de expansión volumétrica de las partículas sólidas en el lecho erosionable,  $p_p$  es la porosidad específica de la fracción de sedimento de la  $p$ -ésima capa del lecho, y  $q_{bp,x}$  y  $q_{bp,y}$  son las tasas de transporte por arrastre de fondo de capacidad a lo largo de las coordenadas  $x$  e  $y$ , respectivamente, calculadas mediante leyes empíricas. Los términos fuente del sistema se dividen en tres tipos. El término  $\mathbf{S}$  se define como

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{p_{b,x}}{\rho_w} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho_w} \\ \frac{p_{b,y}}{\rho_w} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho_w} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}^T$$

con  $p_{b,x}$ ,  $p_{b,y}$  y  $\tau_{b,x}$ ,  $\tau_{b,y}$  como la fuerza de presión a lo largo del fondo y el esfuerzo cortante del lecho en las direcciones  $x$  e  $y$ , respectivamente, siendo  $\rho_w$  la densidad del agua. La primera puede formularse en términos de las pendientes del lecho del nivel inferior  $z$

$$\begin{aligned} \frac{p_{b,x}}{\rho_w} &= -gh \frac{\partial z}{\partial x} = ghS_{0x}, \\ \frac{p_{b,y}}{\rho_w} &= -gh \frac{\partial z}{\partial y} = ghS_{0y} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \frac{\tau_{b,x}}{\rho_w} &= ghS_{fx} \quad \text{with:} \quad S_{fx} = \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \\ \frac{\tau_{b,y}}{\rho_w} &= ghS_{fy} \quad \text{with:} \quad S_{fy} = \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \end{aligned}$$

Los términos de intercambio neto entre el flujo y el lecho erosionable  $\mathbf{R}$ , de carácter volumétrico, se definen como

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} \sum_{p=1}^{N_p} (\xi_p R_p) \\ 0 \\ 0 \\ R_1 \\ \vdots \\ R_{N_p} \\ -\sum_{p=1}^{N_p} (\xi_p R_p) \end{pmatrix}^T$$

donde  $R_p$  es el flujo sólido neto de intercambio entre el flujo de la mezcla y la capa de lecho erosionable para la  $p$ -ésima fracción de sedimento.

## 6.2 Leyes de transporte de sedimentos

Dos formas diferentes de transporte de sedimentos gobiernan la dinámica del lecho móvil considerada en RiverFlow2D: el transporte en suspensión y el transporte por arrastre de fondo. Ambos pueden coexistir o uno de ellos puede ser dominante.

Como cada ley de transporte de sedimentos se deriva de diferentes 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.

### 6.2.1 Transporte por arrastre de fondo

Cuando el arrastre de fondo es el mecanismo dominante de transporte de sedimentos y la influencia del transporte en suspensión es despreciable, el sistema se convierte a su vez en la siguiente forma

*Conservación de la masa del agua*

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

*Conservación del momento del agua en la dirección x*

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

*Conservación del momento del agua en la dirección y*

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

*Cambios en la elevación del lecho*

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \sum_{p=1}^{N_p} z_p \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \sum_{p=1}^{N_p} \xi_p q_{bp,x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \sum_{p=1}^{N_p} \xi_p q_{bp,y} \right) = 0$$

El módulo de la tasa de transporte por arrastre de fondo,  $q_{bp}$ , para la  $p$ -ésima clase de tamaño de sedimento se define como

$$q_{bp} = \sqrt{q_{bp,x}^2 + q_{bp,y}^2}$$

y se calcula como

$$q_{bp} = f_{bp} \Phi_p \sqrt{g(s_p - 1)d_{50p}^3}$$

donde  $f_{bp}$  es la fracción en la capa de transporte,  $s_p = \rho_{sp}/\rho_w$  es la relación de densidades,  $\rho_{sp}$  es la densidad del sedimento y  $d_{50p}$  es el diámetro mediano para la  $p$ -ésima clase de tamaño de sedimento.

El parámetro adimensional  $\Phi_p$  para la  $p$ -ésima clase de tamaño de sedimento se calcula mediante una ley empírica. La tabla recopila las fórmulas implementadas en la versión actual de RiverFlow2D. Para mayor claridad, se ha omitido el subíndice  $p$  en la formulación empírica del transporte por arrastre de fondo, donde  $d_{90}$ ,  $d_{50}$  y  $d_{30}$  son los diámetros de grano para los cuales el 90%, 50% y 30% del peso de una muestra no uniforme son más finos, respectivamente,  $\theta$  es el esfuerzo de Shields adimensional,  $\theta_c$  es el valor crítico del esfuerzo de Shields para el inicio del movimiento y  $\theta_c^S$  es el esfuerzo crítico de Shields expresado por Smart (1984).

El esfuerzo de Shields se calcula como

$$\theta = \frac{|\tau_b|}{(\rho_s - \rho_w) g d_{50}}$$

siendo  $|\tau_b|$  el módulo del esfuerzo cortante generado en el fondo por la rugosidad del lecho, que se tiene en cuenta mediante el coeficiente de Manning  $n$  y se calcula como

$$|\tau_b| = \rho_w h \frac{n^2 (u^2 + v^2)}{h^{4/3}}$$

- **Meyer-Peter:** Mueller (1948);  $8 (\theta - \theta_c)^{3/2}$ ;  $d_{50}, \theta_c, \rho_s$
- **Ashida Michiue (1972):**  $17 (\theta - \theta_c) (\sqrt{\theta} - \sqrt{\theta_c})$ ;  $d_{50}, \theta_c, \rho_s$
- **Engelund and Fredsøe (1976):**  $18.74 (\theta - \theta_c) (\sqrt{\theta} - 0.7\sqrt{\theta_c})$ ;  $d_{50}, \theta_c, \rho_s$
- **Fernandez-Luque and van Beek (1976):**  $5.7 (\theta - \theta_c)^{3/2}$ ;  $d_{50}, \theta_c, \rho_s$
- **Parker fit to Einstein (1979):**  $11.2 (1 - \theta/\theta_c)^{9/2}$ ;  $d_{50}, \theta_c, \rho_s$
- **Smart (1984):**  $4 (d_{90}/d_{30})^{0.2} S_0^{0.6} C \theta^{1/2} (\theta - \theta_c^5)$ ;  $d_{30}, d_{50}, d_{90}, \theta_c, \theta_c^S, \rho_s$
- **Nielsen (1992):**  $12\theta^{1/2} (\theta - \theta_c)$ ;  $d_{50}, \theta_c, \rho_s$
- **Wong:**  $4.93 (\theta - \theta_c)^{1.6}$ ;  $d_{50}, \theta_c, \rho_s$
- **Wong:**  $3.97 (\theta - \theta_c)^{3/2}$ ;  $d_{50}, \theta_c, \rho_s$
- **Camenen-Larson:**  $12\theta^{3/2} \exp(-4.5\theta_c/\theta)$ ;  $d_{50}, \theta_c, \rho_s$

La suma  $\sum_{p=1}^{N_p} z_p$  puede considerar un suelo heterogéneo, donde pueden coexistir diferentes fracciones de material. Para tener en cuenta esta heterogeneidad, cada caudal de transporte de sedimentos ( $q_{bp,x}, q_{bp,y}$ ) asociado a la  $p$ -ésima clase de tamaño de sedimento se multiplica por su fracción de suelo correspondiente  $f_{bp}$ . Por lo tanto, es necesario definir la fracción de cada clase de tamaño de sedimento en la capa del lecho.

## 6.2.2 Transporte de sedimentos en suspensión

Cuando el transporte en suspensión desempeña el papel principal en la movilización del lecho, el término de arrastre de fondo puede omitirse y el sistema se convierte a su vez en la siguiente forma

*Conservación de la masa de la mezcla*

$$\frac{\partial(h)}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = \sum_{p=1}^{N_p} \xi_p R_p$$

*Conservación del momento de la mezcla en la dirección  $x$*

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

*Conservación del momento de la mezcla en la dirección  $y$*

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

*Conservación de la masa de sedimento en suspensión para la  $p$ -ésima clase de tamaño*

$$\frac{\partial(h\phi_p)}{\partial t} + \frac{\partial(hu\phi_p)}{\partial x} + \frac{\partial(hv\phi_p)}{\partial y} = R_p$$

*Cambios en la elevación del lecho*

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \sum_{p=1}^{N_p} z_p \right) = - \sum_{p=1}^{N_p} \xi_p R_p$$



donde el flujo de intercambio neto entre el flujo de la mezcla y la capa del lecho para la  $p$ -ésima clase de tamaño de sedimento,  $R_p$ , se calcula como

$$R_p = A_{bp} (E_p - D_p) = A_{bp} \omega_{mp} (\phi_p^* - \phi_p)$$

donde  $E_p$  y  $D_p$  son las tasas específicas de incorporación y deposición para la  $p$ -ésima clase de sedimento, respectivamente, y el factor  $A_{bp}$  denota el área expuesta para la  $p$ -ésima clase de sedimento en la capa superior del lecho erosionable, cumpliendo  $\sum_{p=1}^{N_p} A_{bp} = 1$ . Las tasas de incorporación y deposición se calculan como  $E_p = \omega_{mp} \phi_p^*$  y  $D_p = \omega_{mp} \phi_p$ , respectivamente, siendo  $\phi_{*p}$  la concentración sólida de equilibrio o de capacidad y  $\omega_{mp}$  la velocidad de sedimentación real de la  $p$ -ésima clase de sedimento en la mezcla de flujo cargada de sedimentos, ambas obtenidas mediante leyes empíricas. El término  $\phi_p$  contiene la información sobre la masa de sedimento en suspensión de la  $p$ -ésima clase de tamaño que se transporta realmente. En todas ellas, los parámetros de entrada son la densidad del sedimento y el diámetro de grano de la  $p$ -ésima clase de tamaño.

Cabe destacar que las leyes de intercambio de sedimentos se han derivado para una sola partícula que cae en agua clara y en condiciones estacionarias. Por tanto, en caso de considerar una situación transitoria con una concentración de sedimentos en la columna de flujo, debe tenerse en cuenta la influencia de las partículas cercanas, ya que puede reducir considerablemente la velocidad de caída en comparación con el agua clara. Este efecto, conocido como sedimentación impedida, se incluye en las ecuaciones calculando la velocidad de sedimentación real  $\omega_{mp}$  para cada clase de tamaño de sedimento en el flujo de la mezcla de la siguiente manera:

$$\omega_{mp} = \begin{cases} \alpha_{\omega p} \left(1 - \frac{\phi_0}{2\sqrt{d_{50p}}}\right)^3 \omega_{sp}, & \text{if } \phi_0 > 2\sqrt{d_{50p}} \\ \alpha_{\omega p} (1 - \phi_0)^4 \omega_{sp}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

donde  $\alpha_{\omega p}$  es un parámetro de ajuste definido por el modelador,  $\phi_0 = \sum_{p=1}^{N_p} \phi_p$  tiene en cuenta la concentración total en el flujo de la mezcla y  $\omega_{sp}$  es la velocidad de sedimentación teórica de una sola partícula de sedimento en agua clara y  $d_{50p}$  es el diámetro mediano de cada clase de sedimento. La tabla recopila las fórmulas consideradas en esta versión de RiverFlow2D para el cálculo de la velocidad de sedimentación de cada clase de sedimento en agua clara  $\omega_{sp}$ . En todas ellas, los parámetros de entrada necesarios son la densidad del sedimento y el diámetro mediano de cada clase de tamaño. Para mayor claridad, se ha omitido el subíndice  $p$  en la formulación empírica.

- **Rubey (1933):**  $\omega_s = F \sqrt{\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right) g d_{50}}$ ; If  $d_{50} > 1$  mm,  $F = 0.79$ , otherwise  $F = \left(\frac{2}{3} + \frac{36\nu^2}{g d_{50}^3 (\rho_s/\rho_w - 1)}\right)^{0.5} - \left(\frac{36\nu^2}{g d_{50}^3 (\rho_s/\rho_w - 1)}\right)^{0.5}$
- **Zhang (1961):**  $\omega_s = \sqrt{\left(13.95 \frac{\nu}{d_{50}}\right)^2 + 1.09 \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right) g d_{50} - 13.95 \frac{\nu}{d_{50}}}$ ; Valid for a wide range of  $d_{50}$
- **Zanke (1977):**  $\omega_s = 10 \frac{\nu}{d_{50}} \left( \left(1 + 0.01 \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right) \frac{g d_{50}^2}{\nu^2}\right)^{0.5} - 1 \right)$
- **Van Rijn (1984):**  $\omega_s = \left(\frac{1}{18} \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} g \frac{d_s^2}{\nu}\right)$ ;  $d_{50} < 0.1$  mm
- **Raudkivi (1990):**  $\omega_s = \left(\frac{(2/3)(\rho_s/\rho_w - 1) g d_{50}^2}{\nu} - 32\right) \frac{\nu}{1.2 d_{50}}$ ;  $d_{50} > 1$  mm
- **Julien (1995):**  $\omega_s = \left(\frac{(2/3)(\rho_s/\rho_w - 1) g d_{50}^2}{\nu} - 24\right) \frac{\nu}{1.5 d_{50}}$

- **Cheng(1997):**  $\omega_s = \frac{\nu}{d_{50}} \left( \sqrt{25 + 1.2D_*^2} - 5 \right)^{1.5}$ ;  $D_* = d_{50} ((\rho_s/\rho_w - 1)g/\nu^2)^{1/3}$
- **Jiménez-Madsen (2003):**  $\omega_s = (C_1 + C_2 S_*) \sqrt{(s-1)gd_{50}}$ ;  $C_1$ ,  $C_2$  and  $S_*$  as in Jiménez-Madsen
- **Wu-Wang(2006):**  $\omega_s = \frac{M\nu}{Nd_s} \left( \sqrt{\frac{1}{4} \left( \frac{4N}{3M^2} D_*^3 \right)^{1/n}} - 0.5 \right)^n$ ;  $M$ ,  $N$  and  $n$  as in Wu and  $D_* = d_{50} ((\rho_s/\rho_w - 1)g/\nu^2)^{1/3}$

### 6.2.3 Fórmulas de transporte en suspensión de capacidad

Como se ha mencionado anteriormente, la concentración de equilibrio  $\phi_p^*$  que aparece en se obtiene para cada clase de tamaño de sedimento  $p$  como

$$\phi_p^* = \frac{q_{sp}^*}{hU}$$

donde  $U = \sqrt{u^2 + v^2}$  es el módulo de la velocidad del flujo y  $q_{sp}^*$  es la tasa de transporte sólido en suspensión de capacidad, que se estiman utilizando una de las siguientes relaciones empíricas. Para mayor claridad, se ha omitido el subíndice  $p$  en las leyes empíricas.

- Bagnold (1966, ) consideró que el esfuerzo cortante es proporcional a la velocidad del flujo y estableció la siguiente fórmula,

$$q_s^* = 0.01 \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_w} \frac{\tau_b U^2}{\omega_s}$$

siendo  $\tau_b$  el esfuerzo cortante generado en el fondo por la rugosidad del lecho, que se calcula mediante.

- Van Rijn (1984, ) propuso calcular el transporte en suspensión de equilibrio integrando el flujo de sedimentos dentro de la capa donde la suspensión desempeña un papel principal, es decir, entre el término  $h_s$  y  $h$ ,

$$q_s^* = \int_{h_s}^h \phi_m U dh'$$

donde  $q_s^*$  se expresa en volumen por unidad de tiempo, y los términos  $\phi_m$  y  $h_s$  se definieron de la siguiente manera

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

con

$$\phi_s = \frac{0.117}{d_{50}} \left( \frac{\nu^2}{(s-1)g} \right)^{1/3} \left( \frac{\theta}{\theta_c} - 1 \right)$$

$$h_s = 0.3 d_{50} \left( d_{50} \left( \frac{(s-1)g}{\nu^2} \right)^{1/3} \right)^{0.7} \sqrt{\frac{\theta}{\theta_c} - 1}$$

donde  $\theta$  es el esfuerzo de Shields adimensional calculado mediante ,  $\theta_c$  es el parámetro crítico de Shields,  $d_{50}$  es el diámetro mediano del sedimento,  $s$  es la relación de densidades y  $\nu$  es la viscosidad cinemática del agua.

### 6.2.4 Composición de la capa activa

La exposición de cada clase de sedimento en la capa superior del lecho erosionable, conocida como capa activa, gobierna el intercambio de material sólido entre el transporte por arrastre de fondo y el transporte en suspensión. Esta versión de RiverFlow2D incluye dos modelos para la composición de la capa activa:

- **Modelo de fracción fija:** La composición de la capa superior del lecho erosionable no varía con respecto al sustrato definido por el usuario. Por tanto, dada la fracción de cada clase de sedimento en el sustrato  $F_{sp}$ , que cumple  $\sum_{p=1}^{N_p} F_{sp} = 1$ , la composición del caudal de arrastre de fondo y el término de intercambio en suspensión se estiman como

$$f_{bp} = F_{sp}$$

$$A_{bp} = \begin{cases} F_{sp}, & \text{if } E_p - D_p > 0 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases}$$

- **Modelo de capa activa:** El modelo de capa activa proporciona un enfoque más complejo. Los sedimentos de la capa superior del lecho erosionable pueden intercambiarse libremente con la capa de transporte por arrastre de fondo, los sedimentos en suspensión del flujo y el sustrato subyacente. Por tanto, la composición de esta capa activa evoluciona según la ecuación

$$\frac{\partial}{\partial t}(f_{ap}\eta_a) = -\xi_p \left( \frac{\partial q_{bp,x}}{\partial x} + \frac{\partial q_{bp,y}}{\partial y} \right) - (\xi_p R_p) - f_{ep} \frac{\partial z_e}{\partial t}$$

siendo  $\eta_a$  el espesor de la capa activa y  $f_{ap}$  la fracción de la  $p$ -ésima clase de sedimento en la capa activa, que cumple  $\sum_{p=1}^{N_p} f_{ap} = 1$ , y  $z_e$  denota la interfaz entre la capa activa y el sustrato subyacente. El espesor de la capa activa se estima aquí como una función del diámetro máximo del sedimento y de la altura de la forma del lecho, mientras que la variación temporal de la interfaz  $\partial z_e / \partial t$  se aproxima mediante el cambio del nivel global del lecho  $\partial z / \partial t$ . El término  $f_{ep}$  denota la fracción de la  $p$ -ésima clase de sedimento que se intercambia a través de la interfaz  $z_e$ , cumpliendo  $\sum_{p=1}^{N_p} f_{ep} = 1$ , y se estima aquí como

$$f_{ep} = \begin{cases} F_{sp}, & \text{if } \partial z_e / \partial t < 0 \\ \beta_a f_{ap} + (1 - \beta_a) \phi_p / \phi_0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

donde  $\beta_a$  es un parámetro de ponderación de ajuste establecido en 0.6 en RiverFlow2D y  $\phi_p / \phi_0$  representa la concentración relativa de la  $p$ -ésima clase de sedimento en el transporte en suspensión.

La composición del caudal de arrastre de fondo y el término de intercambio en suspensión se estiman como

$$f_{bp} = f_{ap}$$

$$A_{bp} = \begin{cases} \frac{f_{ap}/d_{50p}}{\sum_{p=1}^{N_p} f_{ap}/d_{50p}}, & \text{if } E_p - D_p > 0 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases}$$

## 6.3 Condiciones de contorno para el modelo de sedimentos en suspensión

Al utilizar el modelo de sedimentos en suspensión, el usuario debe imponer la concentración volumétrica de cada fracción de sedimento en todos los contornos de entrada. Estos datos deben incluirse en el mismo archivo que establece las series temporales en cada entrada. Por ejemplo, si se seleccionan dos fracciones de sedimento y BCType=6, donde la entrada se establece como caudal frente al tiempo, un archivo típico sería el siguiente:

---

|     |          |      |    |
|-----|----------|------|----|
| 3   |          |      |    |
| 0   | 1000. 0  | .1 0 | .2 |
| 2   | 67000. 0 | .1 0 | .2 |
| 100 | 67000. 0 | .1 0 | .2 |

---

La primera columna es el tiempo en horas. Hay 3 tiempos: 0, 2 y 100 horas. La segunda columna es el caudal de agua (1000, 67000, 67000). A continuación hay dos columnas que deben contener la concentración volumétrica de sedimento  $\phi_p$  para cada fracción dada.

## 6.4 Condiciones de contorno para el modelo de arrastre de fondo

### 6.4.1 Proporcionar únicamente el caudal de entrada de agua

Al utilizar el modelo de arrastre de fondo, el usuario puede imponer únicamente el caudal de agua y dejar que el modelo calcule la entrada de sólidos. Esta es una función útil cuando no se dispone de datos del caudal sólido. En ese caso, el modelo determinará el caudal sólido para cada clase de sedimento basándose en las condiciones locales del flujo y en la fórmula de arrastre de fondo seleccionada, lo que puede ser una buena aproximación en muchas aplicaciones.

En esta opción, se selecciona la condición de contorno *Discharge vs. Time* (BCType=6) y se proporciona una tabla que contiene únicamente el tiempo y el caudal de agua. Un archivo típico sería el siguiente:

---

|        |      |
|--------|------|
| 0 1000 | .    |
| 2 6700 | 0.   |
| 100 67 | 000. |

---

La primera columna es el tiempo en horas. Este archivo indica que hay 3 tiempos: 0, 2 y 100 horas. La segunda columna es el caudal de agua (1000, 67000, 67000). No serán necesarias otras columnas.

### 6.4.2 Entrada de caudal de agua y sedimentos

Al utilizar el modelo de arrastre de fondo, el usuario puede imponer el caudal de agua y la entrada volumétrica de arrastre de fondo. En este caso, la entrada de sedimentos debe proporcionarse para cada fracción de sedimento en todas las entradas. Estos datos deben incluirse en el mismo archivo que establece las series temporales en cada entrada. Por ejemplo, si se seleccionan dos fracciones de sedimento y BCType=26, un archivo típico sería el siguiente:

---

|     |          |        |      |
|-----|----------|--------|------|
| 3   |          |        |      |
| 0   | 1000. 0  | .005 0 | .002 |
| 2   | 67000. 0 | .005 0 | .002 |
| 100 | 67000. 0 | .005 0 | .002 |

---

La primera columna es el tiempo en horas. Hay 3 tiempos: 0, 2 y 100 horas. La segunda columna es el caudal de agua (1000, 67000, 67000). A continuación hay dos columnas que contienen la entrada volumétrica de arrastre de fondo para cada clase de sedimento dada.

El caudal de arrastre de fondo debe indicarse en m<sup>3</sup>/s cuando se utilizan unidades métricas y en ft<sup>3</sup>/s para unidades inglesas.

## 6.5 Condiciones de contorno para el modelo combinado de arrastre de fondo y transporte en suspensión

Al utilizar conjuntamente los modelos de arrastre de fondo y de sedimentos en suspensión, el usuario debe imponer la concentración de sedimentos en suspensión  $\phi_p$  y la entrada volumétrica de arrastre de fondo para cada fracción de sedimento en todas las entradas. Estos datos deben incluirse en el mismo archivo que establece las series temporales en cada entrada. Por ejemplo, si se seleccionan dos clases de sedimento y BCType=26, un archivo típico de condiciones de contorno de entrada sería el siguiente:

---

|     |          |      |       |        |      |
|-----|----------|------|-------|--------|------|
| 3   |          |      |       |        |      |
| 0   | 1000. 0  | .1 0 | .2 0  | .005 0 | .002 |
| 2   | 67000. 0 | .1 0 | .2 0  | .005 0 | .002 |
| 100 | 67000. 0 | .1 0 | .2. 0 | .005 0 | .002 |

---

La primera columna es el tiempo en horas. Este archivo indica que hay 3 tiempos: 0, 2 y 100 horas. La segunda columna es el caudal de agua (1000, 67000, 67000). La tercera y cuarta columnas son la entrada de caudal sólido por arrastre de fondo para cada clase dada. Finalmente, la quinta y sexta columnas representan la concentración volumétrica de sedimento  $\phi_p$  para cada clase. El caudal de arrastre de fondo debe indicarse en  $\text{m}^3/\text{s}$  cuando se utilizan unidades métricas y en  $\text{ft}^3/\text{s}$  para unidades inglesas.

## 6.6 Solución numérica de volumen finito del transporte de sedimentos

El sistema de ecuaciones se integra en un volumen o celda de la cuadrícula  $\Omega$  mediante el teorema de Gauss:

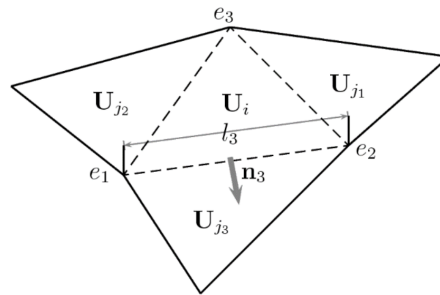
$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \mathbf{U} d\Omega + \oint_{\partial\Omega} \mathbf{En} dl = \int_{\Omega} \mathbf{S} d\Omega + \int_{\Omega} \mathbf{R} d\Omega$$

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

Para obtener una solución numérica del sistema, dividimos el dominio en celdas computacionales,  $\Omega_i$ , utilizando una malla fija en el tiempo, y se aplica a cada celda

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

siendo  $(\mathbf{En})_k^\downarrow$  el valor de la función de flujo de interfaz a través del borde  $k$  que debe definirse,  $\mathbf{n}_k = (n_x, n_y)$  el vector normal unitario exterior al borde  $k$  de la celda, y  $NE$  el número de bordes de la celda  $i$ . La figura siguiente muestra un esquema de los flujos.



**Figura 6.1** – Parámetros de la celda.

Suponiendo una representación a trozos de las variables conservadas

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

La ecuación se escribe como

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

donde  $l_k$  es la longitud correspondiente del borde. El sistema se resuelve siguiendo la teoría del solucionador de Riemann de Roe y utilizando la discretización contra el viento.

## 6.7 Introducción de datos para el modelo de transporte de sedimentos en el DIP

Para introducir datos para una simulación de transporte de sedimentos, utilice el panel *Sediment Transport*.

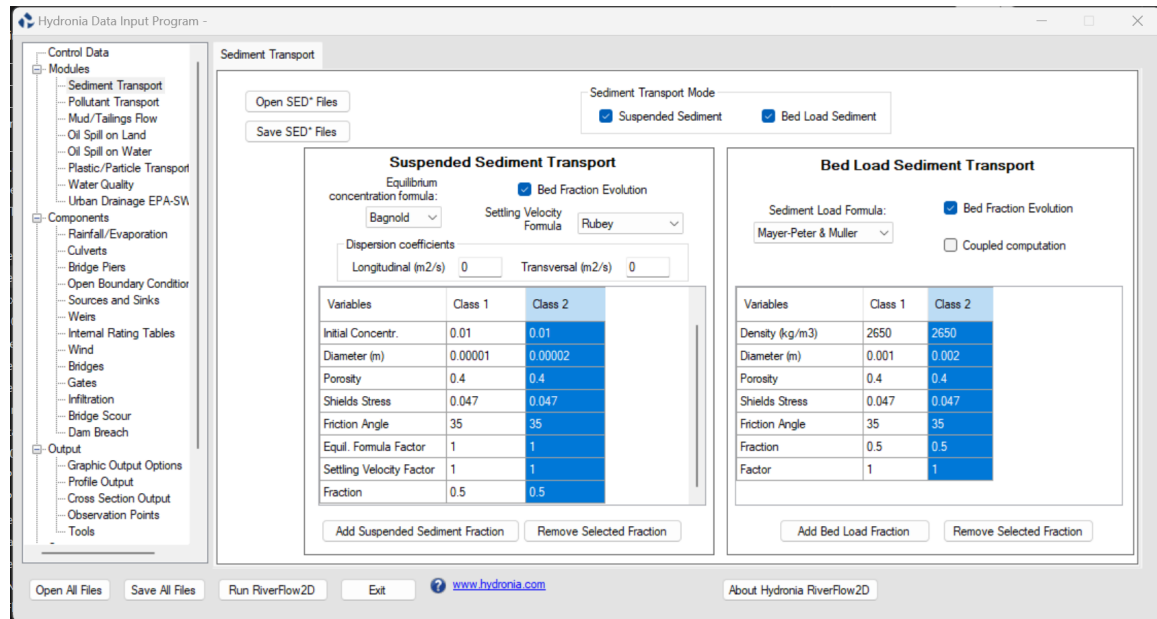


Figura 6.2 – Panel Sediment Transport del DIP.

## 6.8 Supuestos y consideraciones del modelo de transporte de sedimentos

Los principales supuestos involucrados en la versión actual del modelo RiverFlow2D son:

- Al utilizar la opción de arrastre de fondo, la tasa de transporte de sedimentos es igual a la capacidad de transporte en condiciones de equilibrio.
- Cada tamaño de partícula de sedimento se considera mediante un único diámetro característico ( $D_{50}$ ) para todas las fórmulas, excepto la de Smart (1984), que considera tres tamaños ( $D_{30}$ ,  $D_{50}$  y  $D_{90}$ ).
- El modelo de fracción fija garantiza la conservación del lecho de todas las fracciones por separado.
- El modelo de capa activa puede tener en cuenta los efectos de acorazamiento del lecho, pero no garantiza la conservación de todas las fracciones del lecho por separado.
- El modelo no considera la socavación local, como la socavación alrededor de pilas, donde el flujo tridimensional determina las tasas de transporte de sedimentos y de cambio del lecho.

- Al asignar la elevación máxima de erosión del lecho, el modelo bloquea la erosión adicional cuando la elevación del lecho alcanza el límite indicado.

**Nota**

Dado que las formulaciones del caudal de arrastre de fondo, del caudal de sedimentos en suspensión y de la velocidad de sedimentación se basan en leyes deterministas respaldadas por experimentación, se han considerado factores de ajuste para cada una de ellas. Por tanto, el modelo permite calibrar el transporte de sedimentos calculado para cada situación particular.



# 7

## Modelo de flujo de lodos y relaves: MT

Las inundaciones de lodo, detritos o relaves son fenómenos de flujo superficial altamente no estacionarios en los que el fluido muestra un comportamiento no newtoniano compresible, incluidos mecanismos de detención y reanudación. Las propiedades globales de los fluidos son las de una mezcla hiperconcentrada de agua y sedimentos, con gradientes importantes de la concentración de la fase sólida. La resistencia global del flujo de lodos/relaves depende de la importancia relativa de los esfuerzos cortantes que surgen de diferentes fuentes que, además del esfuerzo cortante turbulento en el borde del canal, incluyen el esfuerzo viscoso, el esfuerzo de fluencia, el esfuerzo dispersivo y las colisiones inelásticas de partículas sólidas dentro de la mezcla fluida.

El módulo RiverFlow2D MT incluye dos modelos. El primero es el *Constant-Properties Fixed-Bed Model (CP-FB)*, que considera un fluido homogéneo con densidad, viscosidad, esfuerzo de fluencia y ángulo de fricción constantes, donde la concentración volumétrica de sedimentos no cambia ni en el tiempo ni en el espacio. La segunda opción es el *Variable-Properties Movable-Bed Two-Phase Model (VP-MB)*, en el que la fase sólida está compuesta por múltiples clases de tamaño de sedimento. Este modelo incluye densidad global transitoria, viscosidad y esfuerzo de fluencia variables en el espacio y el tiempo, presión dinámica del fluido intersticial que afecta al mecanismo de detención y arrastre/deposición de material desde/hacia el lecho móvil subyacente.

### 7.1 Modelo de flujo de lodo *Constant-Properties Fixed-Bed* (CP-FB)

El modelo matemático adoptado en el modelo *CP-FB* se basa en el de , considerando condiciones de lecho fijo y la resistencia basal para flujo de superficie libre que va desde agua limpia hasta mezclas hiperconcentradas de sedimentos.

El modelo *CP-FB* implica las siguientes suposiciones:

- El flujo está confinado a una capa delgada en comparación con la escala horizontal de interés.

- El flujo está gobernado por la ecuación con los términos de resistencia evaluados como se explica a continuación.
- La mezcla de agua y sedimentos se describe mediante el enfoque continuo, sin distinguir la fase líquida de la sólida.
- El lecho del río no se erosiona; por tanto, no es posible el arrastre/la deposición de material.
- Se supone que el fluido es una mezcla homogénea monofásica de agua y sedimento y tiene propiedades constantes: por ejemplo, densidad, viscosidad, esfuerzo de fluencia, ángulo de fricción basal, etc. La presión del fluido intersticial también se considera hidrostática.
- El sistema de coordenadas de referencia es horizontal-vertical y las fuerzas de presión y esfuerzo actúan en la dirección horizontal.

## 7.2 Modelo de flujo bifásico *Variable-Properties Movable-Bed* (VP-MB)

El modelo bifásico *VP-MB* para flujo de lodos/relaves se basa en el de e implica las siguientes suposiciones:

- Enfoque de flujo somero: el flujo está confinado a una capa delgada en comparación con las escalas horizontales de interés, lo que conduce a la suposición de presión global hidrostática.
- Flujo multicomponente: la mezcla de agua y partículas de sedimento se describe mediante el enfoque continuo y suponiendo la misma velocidad para la fase líquida y la sólida.
- Las diferentes clases de tamaño de sedimento presentes en el flujo se distribuyen uniformemente en la columna de flujo.
- El sistema de coordenadas de referencia es horizontal-vertical, pero las fuerzas de presión y esfuerzo actúan en la dirección tangencial a la superficie del lecho.
- En la fase líquida pueden desarrollarse presiones dinámicas del fluido intersticial, que afectan al esfuerzo cortante de fricción entre los granos sólidos.

El modelo bidimensional de flujo de lodos/relaves sobre un lecho erosionable consta de  $3 + N + 1$  ecuaciones diferenciales parciales, incluidas las ecuaciones promediadas en profundidad de conservación de la masa y el momento de la mezcla de agua y sedimento:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho hu) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho hv) &= - \sum_{p=1}^N \rho_{b,p} \frac{D_p - E_p}{1 - \xi_p} \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho hu) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho hu^2 + \frac{1}{2}g_\psi \rho h^2) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho huv) &= -g_\psi \rho h \frac{\partial z_b}{\partial x} - \tau_{bx} \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho hv) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho huv) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho hv^2 + \frac{1}{2}g_\psi \rho h^2) &= -g_\psi \rho h \frac{\partial z_b}{\partial y} - \tau_{by} \end{aligned}$$

la ecuación de continuidad para cada clase de tamaño de sedimento  $p = 1, \dots, N$ , expresada como:

$$\frac{\partial}{\partial t}(h \phi_p) + \frac{\partial}{\partial x}(hu \phi_p) + \frac{\partial}{\partial y}(hv \phi_p) = -(D_p - E_p)$$

así como la ecuación de conservación de la masa para la capa del lecho considerando  $N$  clases de tamaño de sedimento:

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = \sum_{p=1}^N \frac{D_p - E_p}{1 - \xi_p}$$

siendo  $\rho$  la densidad global de la mezcla,  $h$  la profundidad del flujo,  $(u, v)$  los componentes del vector de velocidad del flujo promediada en profundidad  $\mathbf{u}$  a lo largo de las coordenadas  $x$  e  $y$ , respectivamente,  $\phi_p$  la concentración volumétrica promediada en profundidad de la  $p$ -ésima clase de tamaño de sedimento, siendo  $N$  el número de clases de tamaño de sedimento transportadas, y  $(\tau_{bx}, \tau_{by})$  los componentes del vector de resistencia basal  $\tau_b$  a lo largo de las coordenadas  $x$  e  $y$ , respectivamente. Además,  $z_b$  es la elevación del lecho,  $\xi_p$  es la porosidad de deposición de la  $p$ -ésima clase de sedimento y  $\rho_{b,p}$  la densidad global asociada en la capa del lecho,  $D_p$  y  $E_p$  son las tasas de intercambio de deposición y arrastre específicas del tamaño, respectivamente, y  $g_\psi = g \cos^2 \psi$  es la proyección normal al lecho de la gravedad, siendo  $g$  la aceleración gravitacional y  $\cos \psi$  el coseno director de la normal al lecho con respecto al eje vertical.

En consecuencia, la densidad global normalizada  $r$  viene dada por:

$$r = \frac{\rho}{\rho_w} = 1 + \phi^x \quad \text{con:} \quad \phi^x = \sum_{p=1}^N \frac{\rho_{s,p} - \rho_w}{\rho_w} \phi_p$$

donde  $\phi^x$  es la concentración sólida boyante,  $\rho_w$  es la densidad del agua intersticial y  $\rho_{s,p}$  es la densidad de las partículas de sedimento para cada clase de tamaño de sedimento.

El sistema 2D completo puede expresarse en forma vectorial como:

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}(\mathbf{U})}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}(\mathbf{U})}{\partial y} = \mathbf{S}_b(\mathbf{U}) + \mathbf{S}_\tau(\mathbf{U}) + \mathbf{E}_b(\mathbf{U})$$

donde  $\mathbf{U}$  es el vector de variables conservadas,  $\mathbf{F}(\mathbf{U})$  y  $\mathbf{G}(\mathbf{U})$  son los flujos convectivos a lo largo de las coordenadas globales  $x$  e  $y$ , respectivamente,  $\mathbf{S}_b(\mathbf{U})$  es el término fuente de momento asociado a la variación de la fuerza de presión en el fondo,  $\mathbf{S}_\tau(\mathbf{U})$  es la disipación del momento debida al esfuerzo cortante límite entre el flujo de la mezcla y la capa del lecho y  $\mathbf{E}_b(\mathbf{U})$  representa el flujo neto de intercambio de masa entre el flujo de la mezcla y la capa del lecho:

$$\mathbf{U} = \left( rh, \quad rhu, \quad rhv, \quad h\phi^x, \quad z_b \right)^T$$

$$\mathbf{F}(\mathbf{U}) = \begin{pmatrix} rhu \\ rhu^2 + \frac{1}{2}g_\psi rh^2 \\ rhuv \\ hu\phi^x \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{G}(\mathbf{U}) = \begin{pmatrix} rhv \\ rhuv \\ rhv^2 + \frac{1}{2}g_\psi rh^2 \\ hv\phi^x \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{S}_b(\mathbf{U}) = \begin{pmatrix} 0 \\ -g_\psi r h \frac{\partial z_b}{\partial x} \\ -g_\psi r h \frac{\partial z_b}{\partial y} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{S}_\tau(\mathbf{U}) = \begin{pmatrix} 0 \\ -\tau_{bx}/\rho_w \\ -\tau_{by}/\rho_w \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{E}_b(\mathbf{U}) = \begin{pmatrix} N_b^r \\ 0 \\ 0 \\ N_b^x \\ N_b^\xi \end{pmatrix}$$

En el vector de resistencia  $\mathbf{S}_\tau(\mathbf{U})$  y con independencia del modelo reológico seleccionado para modelar el comportamiento del fluido compresible complejo, la resistencia basal  $\tau_b$  entre el flujo y el lecho puede expresarse como:

$$\boldsymbol{\tau}_b = (\tau_{bx}, \tau_{by}) = \tau_b \mathbf{n}_u$$

siendo  $\tau_b$  el módulo del esfuerzo cortante basal y  $\mathbf{n}_u = (n_{ux}, n_{uy})$  el vector unitario de velocidad.

En el término fuente de intercambio neto  $\mathbf{E}_b(\mathbf{U})$ , los flujos de intercambio neto globales para las ecuaciones de conservación de la masa de la mezcla, la fase sólida y la capa del lecho ( $N_b^r$ ,  $N_b^x$  y  $N_b^\xi$ , respectivamente) pueden calcularse como:

$$N_b^r = - \sum_{p=1}^N \frac{\rho_{b,p}}{\rho_w} \frac{D_p - E_p}{1 - \xi_p}$$

$$N_b^x = - \sum_{p=1}^N \frac{\rho_{s,p} - \rho_w}{\rho_w} (D_p - E_p)$$

$$N_b^\xi = \sum_{p=1}^N \frac{D_p - E_p}{1 - \xi_p}$$

donde  $\rho_{b,p} = \rho_w \xi_p + \rho_{s,p}(1 - \xi_p)$  es la densidad global de la capa del lecho para la  $p$ -ésima clase de tamaño de sedimento depositada.

Los términos  $D_p$  y  $E_p$  son las tasas verticales de deposición y arrastre, respectivamente, para la  $p$ -ésima clase de tamaño de sedimento. El flujo de intercambio neto específico del tamaño ( $D_p - E_p$ ) puede expresarse como función de la concentración volumétrica promediada en profundidad real de la mezcla  $\phi_p$  y de la concentración volumétrica de capacidad  $\phi_p^*$  para cada clase de tamaño de sedimento:

$$D_p = \alpha_{D,p} \omega_{s,p} (1 - \phi_0)^{m_0} \phi_p$$

$$E_p = \alpha_{E,p} F_{b,p} \omega_{s,p} \phi_p^*$$

siendo  $\alpha_{D,p}$  y  $\alpha_{E,p}$  dos parámetros de ajuste para las tasas de deposición y arrastre de la  $p$ -ésima clase de sedimento, respectivamente,  $\omega_{s,p}$  la velocidad de sedimentación específica del tamaño de las partículas de sedimento en agua limpia,  $\phi_0 = \sum_{p=1}^N \phi_p$  la concentración total de sedimento en la columna de flujo,  $m_0 \approx 4$  un parámetro semiempírico que representa el efecto de obstaculización sobre la velocidad de sedimentación debido a altas concentraciones de sedimento y  $F_{b,p}$  la fracción de la  $p$ -ésima clase de tamaño de sedimento en la capa del lecho, que satisface  $\sum_{p=1}^N F_{b,p} = 1$ . Obsérvese que la tasa de arrastre se gradúa en función de la fracción en la capa del lecho para cada clase de sedimento.

La concentración suspendida de equilibrio  $\phi_p^*$  se estima mediante diferentes relaciones semiempíricas. Se han implementado las formulaciones de Bagnold, Van Rijn y Zhang-Xie. Además, también está disponible la formulación de Wu, que tiene en cuenta la capacidad total de transporte del flujo (carga de fondo y carga suspendida):

$$\frac{q_{s,p}^*}{\beta_p \sqrt{\chi_p g d_{s,p}^3}} = 0.0053 \left[ \left( \frac{n}{n_p} \right)^{1.5} \frac{\tau_b}{\tau_{c,p}} - 1 \right]^{2.2} + 0.0000262 \left[ \left( \frac{\tau_t}{\tau_{c,p}} - 1 \right) \frac{|\mathbf{u}|}{\omega_{s,p}} \right]^{1.74}$$

donde  $q_{s,p}^* = \phi_p^* h |\mathbf{u}|$  es la tasa de transporte de sólidos de equilibrio por volumen por unidad de tiempo y anchura para la  $p$ -ésima clase de tamaño de sedimento,  $d_{s,p}$  es el diámetro medio correspondiente,  $\beta_p$  es un factor de calibración (Equilibrium Formula Factor),  $n$  y  $n_p = d_{s,p}^{1/6} / 21.1$  son los parámetros de rugosidad de Manning global y específico del tamaño, respectivamente,  $\tau_b$  es el módulo del esfuerzo cortante basal,  $|\mathbf{u}|$  es la velocidad del flujo,  $\tau_t = \rho_w g h S_f$  es el esfuerzo cortante turbulento del flujo, donde  $S_f$  es la pendiente de fricción, y  $\tau_{c,p}$  es el esfuerzo cortante crítico específico del tamaño para el inicio del movimiento del material sólido.

### 7.2.1 Modelo conservativo del material del lecho para depósitos multigrano

En este modelo conservativo, la masa total de la  $p$ -ésima clase de sedimento disponible en la capa del lecho se expresa como:

$$\rho_{s,p} [f_{s,p}(1 - \xi_p)\zeta + f_{b,p}(1 - \xi_p)\eta]$$

donde  $\zeta$  es la altura del estrato de lecho original sobre el lecho rocoso y  $\eta$  el espesor del depósito de material del lecho,  $f_{s,p}$  y  $f_{b,p}$  son la fracción de la  $p$ -ésima clase de sedimento en el estrato subyacente y en el depósito, respectivamente. Obsérvese que  $f_{s,p}$  es siempre constante en el tiempo, mientras que  $f_{b,p}$  puede variar en el tiempo y el espacio, satisfaciendo  $\sum_{p=1}^N f_{b,p} = 1$ . La composición relativa del depósito de material del lecho cambia a medida que el material sólido se deposita desde la capa de flujo o es arrastrado hacia ella.

Cuando el material se deposita/se arrastra hacia/desde depósitos de material del lecho erosionable  $\eta$ , la conservación de la masa para cada masa de sedimento se garantiza resolviendo la ecuación:

$$\frac{\partial(f_{b,p}\eta)}{\partial t} = \frac{D_p - E_p}{1 - \xi_p}$$

siendo  $\eta$  la altura del depósito y  $f_{b,p}$  la fracción de la  $p$ -ésima clase de sedimento en el depósito. En este modelo conservativo, el flujo sólido neto para la  $p$ -ésima clase de sedimento se calcula alternativamente como:

$$D_p - E_p = A_{b,p} N_{b,p}$$

donde  $N_{b,p}$  y  $A_{b,j}$  son el flujo de intercambio neto de una sola clase y el área de exposición para la  $p$ -ésima clase de sedimento en el depósito de material del lecho, calculados como:

$$N_{b,p} = [\alpha_{D,p} \omega_{s,p} (1 - \phi_0)^{m_0} \phi_p] - [\alpha_{E,p} \omega_{s,p} \phi_p^*]$$

$$A_{b,j} = \begin{cases} \frac{f_{b,p}/d_{s,p}}{\sum_{p=1}^N f_{b,p}/d_{s,p}} & \text{si } N_{b,p} < 0 \text{ (Arrastre)} \\ 1 & \text{si } N_{b,p} > 0 \text{ (Deposición)} \end{cases}$$

### 7.2.2 Solución numérica de volumen finito para flujos compresibles

El método numérico para el modelo VP-MB se detalla en y. Aquí solo se resumen los puntos más importantes.

Para la solución numérica del modelo de flujo de lodos/relaves compresible, el dominio espacial se divide en celdas computacionales mediante una malla fija en el tiempo y el sistema se integra en cada celda  $\Omega_i$ . Suponiendo una representación constante por tramos de las variables conservadas en la celda  $\Omega_i$  para el tiempo  $t^n$ ,  $\mathbf{U}_i^n$ , la fórmula explícita para actualizar las variables conservadas al tiempo siguiente  $t^{n+1}$ ,  $\mathbf{U}_i^{n+1}$ , se escribe como:

$$\mathbf{U}_i^{n+1} = \mathbf{U}_i^n - \frac{\Delta t}{A_i} \sum_{k=1}^{NE} \mathbf{R}_k^{-1} \mathcal{F}_k^\perp l_k + \frac{\Delta t}{A_i} \mathbf{E}_b^\square$$

siendo  $\Delta t = t^{n+1} - t^n$  el paso de tiempo,  $A_i$  el área de la celda,  $l_k$  la longitud del  $k$ -ésimo borde de la celda,  $\mathcal{F}_k^\perp$  el flujo numérico normal al  $k$ -ésimo borde de la celda y  $\mathbf{E}_b^\square = A_i \mathbf{E}_b(\mathbf{U}_i^n)$  el intercambio explícitamente integrado, centrado en la celda, entre el flujo hiperconcentrado y el lecho. Por lo tanto, el conjunto de variables conservadas proyectadas para la celda del borde  $k$  se define como  $\hat{\mathbf{U}} = \mathbf{R}_k \mathbf{U}$ , donde  $\mathbf{R}_k$  y  $\mathbf{R}_k^{-1}$  son la matriz de rotación y su inversa, respectivamente.

El flujo numérico  $\mathcal{F}_k^\perp$  normal a cada borde de celda se define como:

$$\mathcal{F}_k^\perp = (\mathbf{F}(\hat{\mathbf{U}}) - \mathbf{S}_b^\vee - \mathbf{S}_\tau^\vee)_k$$

incorporando las contribuciones de borde integradas de los términos fuente de momento de presión del lecho y de resistencia basal,  $\mathbf{S}_b^\vee$  y  $\mathbf{S}_\tau^\vee$ , respectivamente, en los flujos numéricos convectivos homogéneos  $\mathbf{F}(\hat{\mathbf{U}})_k$  y garantizando la propiedad de balance equilibrado para estados estacionarios. El flujo numérico en los bordes de las celdas se calcula aguas arriba mediante un esquema de Roe aumentado totalmente acoplado y dividido en x (xA-Roe), que considera un problema de Riemann linealizado con una matriz jacobiana  $\tilde{\mathbf{J}}_k$  para el flujo de la mezcla de agua y sedimento definida como:

$$\tilde{\mathbf{J}}_k = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2}g_\psi\tilde{h}(1+\tilde{r})-\tilde{u}^2 & 2\tilde{u} & 0 & -\frac{1}{2}g_\psi\tilde{h}\tilde{r} \\ -\tilde{u}\tilde{v} & \tilde{v} & \tilde{u} & 0 \\ -\tilde{u}\tilde{\phi}^x/\tilde{r} & \tilde{\phi}^x/\tilde{r} & 0 & \tilde{u} \end{pmatrix}$$

con cuatro autovalores reales aproximados:

$$\begin{aligned}\tilde{\lambda}_{1,k} &= (\tilde{u} - \tilde{c})_k \\ \tilde{\lambda}_{2,k} &= \tilde{u}_k \\ \tilde{\lambda}_{3,k} &= (\tilde{u} + \tilde{c})_k \\ \tilde{\lambda}_{4,k} &= \tilde{u}_k\end{aligned}$$

donde la celeridad media  $\tilde{c}_k$  se define como:

$$\tilde{c}_k = \left( \sqrt{\frac{1}{2}g_\psi\tilde{h} \left( 1 + \tilde{r} - \tilde{\phi}^x \right)} \right)_k$$

El paso de tiempo en cada borde  $k$  se determina mediante la condición de Courant-Friedrichs-Lewy (CFL), suponiendo que la celeridad de onda más rápida corresponde al máximo absoluto de los autovalores de la matriz jacobiana del flujo de la mezcla  $\tilde{\mathbf{J}}_k$ . Los pasos de tiempo límite en el borde  $k$ -ésimo se calculan mediante:

$$\Delta t^{\{k\}} = \frac{\min(A_i, A_j)}{l_k \max(|\tilde{\lambda}_{1,k}|, |\tilde{\lambda}_{3,k}|)}$$

y el paso de tiempo global  $\Delta t$  se limita usando la condición CFL como:

$$\Delta t = \text{CFL} \min_k(\Delta t^{\{k\}})$$

## 7.3 Formulación reológica y resistencia basal no newtoniana

En y aquí se puede encontrar una explicación detallada de los modelos de resistencia basal no newtoniana promediados en profundidad utilizados para el modelo VP-MB; aquí solo se resumen los puntos más importantes.

No existe una relación de cierre universal para representar la resistencia basal promediada en profundidad  $\tau_b$  en flujos de relaves y de lodos/detritos. La formulación seleccionada para modelar el estado de esfuerzos a lo largo de la columna de flujo incorpora en las ecuaciones de momento el comportamiento reológico del fluido compresible complejo en movimiento. Diferentes tipos de esfuerzos cortantes determinan esta reología compleja: esfuerzo turbulento/dispersivo  $\tau_t$  y esfuerzo viscoso  $\tau_\mu$  en la fase líquida, esfuerzo de fluencia cohesivo  $\tau_y$  o esfuerzo de fricción de tipo Coulomb  $\tau_f$  entre los granos sólidos. Todos estos tipos diferentes de esfuerzo cortante actúan simultáneamente a lo largo de la columna de mezcla y, por tanto, participan en el módulo de la resistencia del flujo en la superficie del lecho  $\tau_b$ , que debe expresarse como función de la profundidad de flujo  $h$  y de la densidad promediada en profundidad  $\rho$  y el módulo de velocidad  $|\mathbf{u}| = \sqrt{u^2 + v^2}$ .

La formulación reológica en RiverFlow2D MT contempla el siguiente comportamiento complejo del fluido:

*Flujos newtonianos turbulentos:* Los flujos superficiales que involucran agua o mezclas granulares con bajas concentraciones de sólidos suelen mostrar un comportamiento newtoniano y la mayoría de las veces se producen en régimen turbulento. Las formulaciones turbulentas promediadas en profundidad se expresan como una relación cuadrática respecto a la velocidad promediada en profundidad:

$$\tau_b = \rho g \psi h C_f |\mathbf{u}|^2$$

donde  $C_f [m^{-2}s^2]$  es un coeficiente de fricción que adopta la forma

$$C_f = \frac{n^2}{h^{4/3}}$$

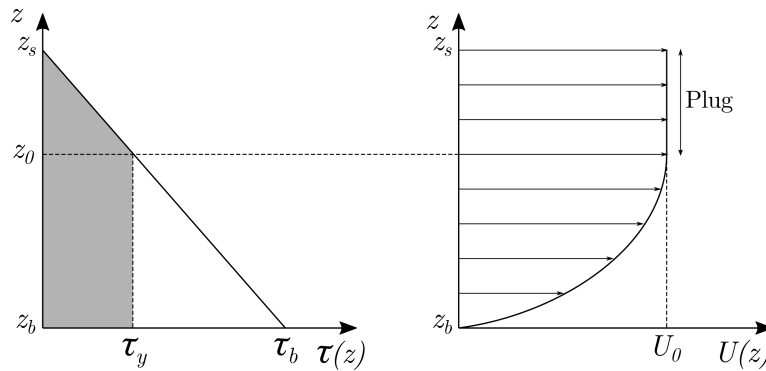
para la relación de Manning, siendo  $n [m^{-1/3}s]$  el parámetro de rugosidad de Manning.

*Flujos viscoplásticos cohesivos:* La relación viscoplástica lineal, también denominada modelo de Bingham, puede utilizarse para modelar flujos laminares de materiales cohesivos donde el módulo del esfuerzo cortante a lo largo de la columna de flujo  $\tau(z)$  sigue la relación lineal:

$$\tau(z) = \tau_y + \mu_B \frac{\partial U}{\partial z}$$

siendo  $\tau_y [Pa]$  la resistencia cohesiva de fluencia,  $\mu_B [Pa \cdot s]$  la viscosidad global de Bingham del fluido complejo y  $U$  el módulo de la velocidad instantánea a lo largo de la columna de flujo. Las mediciones reológicas de fluidos fangosos indican la existencia de una resistencia cohesiva de fluencia que se opone a la deformación. Los valores típicos del esfuerzo de fluencia  $\tau_y$  oscilan aproximadamente entre 10–400  $Pa$ .

Suponiendo un esfuerzo cortante simple, la estructura del flujo consta de las dos regiones separadas representadas en la figura siguiente. Para  $z_0 < z \leq z_s$ ,  $\tau(z)$  es menor que la resistencia de fluencia  $\tau_y$ ; por tanto, la velocidad es constante en toda la región de tapón. En la región inferior ( $z_b < z \leq z_0$ ), el esfuerzo cortante inducido es mayor que  $\tau_y$  y el material está sometido a cizalladura.



**Figura 7.1** – Distribución de velocidad y esfuerzo para el modelo viscoplástico cohesivo.

La integración de este perfil de velocidad a lo largo de toda la columna de flujo  $z_b < z \leq z_s$  conduce a la ecuación cúbica que relaciona el módulo del esfuerzo cortante basal  $\tau_b$ , la resistencia de fluencia  $\tau_y$  y el esfuerzo viscoso lineal:



$$2\tau_b^3 - 3 \left( \tau_y + 2\mu_B \frac{|\mathbf{u}|}{h} \right) \tau_b^2 + \tau_y^3 = 0$$

El modelo completo de Bingham resuelve analíticamente para obtener el módulo de la resistencia basal  $\tau_b$ . En los casos en que la relación de esfuerzos  $\tau_y/\tau_b$  es menor que  $1/2$ , la relación de Bingham puede simplificarse como

$$\tau_b = \frac{3}{2}\tau_y + 3\mu_B \frac{|\mathbf{u}|}{h}$$

*Flujos de adelgazamiento/engrosamiento por cizalladura friccional:* El modelo viscoplástico no lineal con un esfuerzo de fluencia de tipo Coulomb puede utilizarse para modelar flujos de mezclas líquido-sólido donde los esfuerzos de fricción intergranular son importantes y el módulo del esfuerzo cortante a lo largo de la columna de flujo  $\tau(z)$  sigue la relación no lineal:

$$\tau(z) = \sigma_e(z) \tan \delta_f + \mu_P \left( \frac{\partial U}{\partial z} \right)^m$$

donde  $\sigma_e(z)$  denota el esfuerzo normal efectivo a lo largo de la columna de flujo,  $m$  es el índice de comportamiento del fluido,  $\mu_P [Pa \cdot s^m]$  denota un parámetro de tipo viscosidad plástica  $U$  el módulo de la velocidad instantánea a lo largo de la columna de flujo.

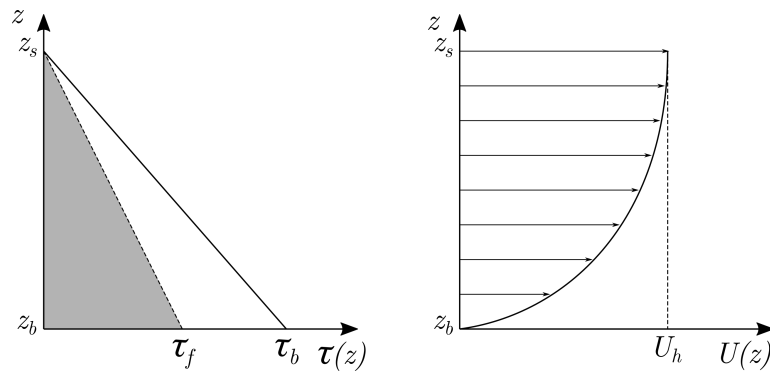
$\delta_f$  es el ángulo de estabilidad basal y representa el ángulo de fricción efectivo entre las partículas sólidas. Puede aproximarse mediante el ángulo de la superficie libre del material una vez que se ha detenido. Normalmente, los valores oscilan entre 1 y 15 grados. Como regla general, cuanto menor sea su valor, mayor será la fluidez del material.

El esfuerzo normal efectivo  $\sigma_e(z)$  tiene en cuenta el esfuerzo normal total y la presión del fluido intersticial  $\mathcal{P}(z)$  como

$$\sigma_e(z) = \rho g_\psi (z_s - z) - \mathcal{P}(z)$$

donde la presión del fluido intersticial puede descomponerse como  $\mathcal{P}(z) = p_h(z) + p_e(z)$ , considerando un componente hidrostático  $p_h(z) = \rho_w g_\psi (z_s - z)$  más una presión intersticial dinámica  $p_e(z)$ , también conocida como exceso de presión  $p$  intersticial.

Suponer un esfuerzo cortante simple a lo largo de la columna de fluido conduce a la estructura del flujo representada en la figura siguiente, donde el movimiento se ve impedido hasta que se alcanza el esfuerzo cortante de fricción  $\sigma_e(z) \tan \delta_f$  a lo largo de toda la columna de flujo.



**Figura 7.2** – Distribución de velocidad y esfuerzo para el modelo viscoplástico friccional no lineal.

La integración de este perfil de velocidad a lo largo de toda la columna de flujo  $z_b < z \leq z_s$  permite obtener la siguiente expresión integrada en profundidad para el módulo del esfuerzo cortante basal  $\tau_b$ :

$$\tau_b = \tau_f + \left( \frac{2m+1}{m} \right)^m \mu_P \left( \frac{|\mathbf{u}|}{h} \right)^m$$

siendo  $\tau_f$  el esfuerzo de fluencia friccional en la superficie basal, estimado como:

$$\tau_f = (\rho g_\psi h - \mathcal{P}_b) \tan \delta_f$$

donde  $\mathcal{P}_b$  es la presión del fluido intersticial en la superficie basal.

La presión intersticial basal  $\mathcal{P}_b$  se calcula como:

$$\mathcal{P}_b = \gamma_{pp} \rho_w g_\psi h$$

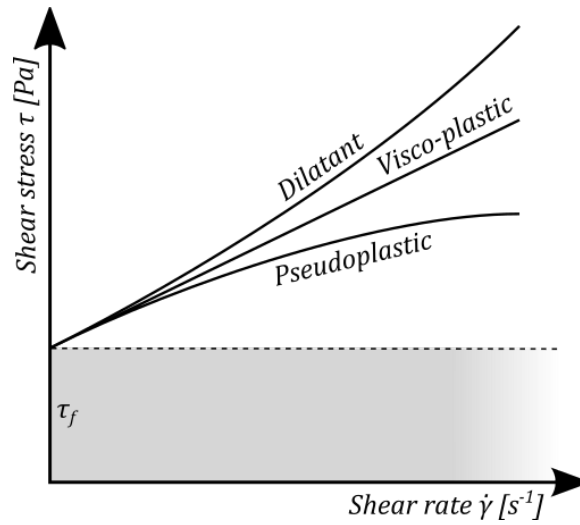
siendo  $\gamma_{pp}$  un coeficiente que representa la presión hidrostática+dinámica en el fluido intersticial, definido de la siguiente manera:

$$\gamma_{pp} = \begin{cases} \frac{\rho_{ref}}{\rho} \gamma_{ref} & \text{si } \rho < \rho_{ref} \\ \gamma_{ref} & \text{si } \rho \geq \rho_{ref} \end{cases}$$

donde  $\gamma_{ref} \geq 1$  es un factor de presión intersticial definido por el usuario y  $\rho_{ref} \geq \rho_w$  es la densidad de referencia definida por el usuario. Cabe señalar que  $\gamma_{pp}$  aumenta a medida que disminuye la  $\rho$  promediada en profundidad; es decir, cuanto menor sea la concentración de sólidos en el flujo, mayor será la presión intersticial basal y, por tanto, menor será la resistencia de fluencia friccional  $\tau_f$ . El flujo se considera completamente licuado ( $\tau_f = 0$ ) para valores de  $\gamma_{pp} \geq \rho/\rho_w$ .

Los valores del factor de presión intersticial suelen estar entre 1.2 y 1.8, lo que representa un aumento del 20% al 80% de la presión hidrostática en el fluido. Este intervalo de valores se ha estimado en otros modelos de flujo de detritos para reproducir eventos reales, según lo reportado por Lancaster y Hayes (2003), Iverson, Reid y LaHusen (1997), y Reid, LaHusen e Iverson (1997).

Además, a medida que el material sólido desaparece en la columna de fluido, las características del flujo no newtoniano se ven impedidas hasta recuperar el comportamiento del agua limpia. Para concentraciones globales de sólidos inferiores a 0.15, el modelo VP-MB supone el modelo newtoniano turbulento/dispersivo para la resistencia basal, independientemente de la formulación reológica seleccionada. Por el contrario, el modelo CP-FB considera siempre únicamente el componente hidrostático de la presión del fluido intersticial, lo que conduce a  $\mathcal{P}_b = \rho_w g_\psi h$  independientemente de la densidad global definida por el usuario.



**Figura 7.3** – Comportamiento de la resistencia basal para el modelo viscoplástico friccional no lineal.

Cabe mencionar que representa una formulación generalizada integrada en profundidad para flujos viscoplásticos, que abarca:

- Comportamiento de adelgazamiento por cizalladura (pseudoplástico) para  $m < 1$ , que reduce la viscosidad aparente a medida que aumenta la tasa de cizalladura inducida. Tomando  $m = 0.5$  se obtiene

$$\tau_b = \tau_f + \left( \sqrt{2} \mu_P \dot{\gamma}^{-1/2} \right) \dot{\gamma}$$

siendo  $\dot{\gamma} = 2|\mathbf{u}|/h$  la tasa de cizalladura macroscópica.

- Comportamiento viscoplástico lineal para  $m = 1$ , con una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la tasa de cizalladura que sigue

$$\tau_b = \tau_f + \left( \frac{3}{2} \mu_P \right) \dot{\gamma}$$

- Comportamiento de engrosamiento por cizalladura (dilatante) para  $m > 1$ , que aumenta la viscosidad aparente a medida que crece la tasa de cizalladura inducida. Tomando  $m = 2$  se obtiene

$$\tau_b = \tau_f + \left( \frac{25}{16} \mu_P \dot{\gamma} \right) \dot{\gamma}$$

- **Flujos turbulentos friccionales:** Basado en , donde la resistencia basal aumenta proporcionalmente a  $|\mathbf{u}|^2$ , la **relación de Coulomb turbulenta:** utiliza el enfoque de Manning para incluir los esfuerzos turbulentos en la estimación de la resistencia basal como

$$\tau_b = \tau_f + \rho g \psi \frac{n^2 |\mathbf{u}|^2}{h^{1/3}}$$

En el caso particular de material granular puro seco, este modelo se simplifica a la relación de Coulomb utilizada habitualmente en mecánica de suelos:

$$\tau_b = \rho g_\psi h \tan \delta_f$$

*Flujos turbulentos cohesivos:* La combinación de una resistencia cohesiva de fluencia, un esfuerzo viscoso y la contribución turbulenta/dispersiva conduce a la formulación cuadrática para flujos hiperconcentrados turbulentos con esfuerzo cohesivo dominante a bajas tasas de cizalladura. Para este modelo aditivo, los módulos de resistencia basal  $\tau_b$  pueden expresarse como

$$\tau_b = \tau_y + \frac{k_0}{8} \mu_B \frac{|\mathbf{u}|}{h} + \rho g_\psi \frac{n^2 |\mathbf{u}|^2}{h^{1/3}}$$

donde  $\mu_B$  [Pa · s] es la viscosidad plástica del material y  $k_0$  es un parámetro de resistencia. En el caso particular de flujo laminar en canales lisos, rectangulares y anchos, normalmente  $k_0 = 24$  es adecuado, pero aumenta con la rugosidad y la geometría irregular del canal.

La Tabla resume los diferentes modelos utilizados por RiverFlow2D MT para la estimación de la resistencia basal  $\tau_b$ .

p0.5cm p3cm c p3cm

- **1:** Manning turbulento;  $\tau_b = \tau_f + \rho g_\psi \frac{n^2 |\mathbf{u}|^2}{h^{1/3}}$ ; Newtoniano turbulento.
- **2:** Bingham completo;  $2\tau_b^3 - 3 \left( \tau_y + 2\mu_B \frac{|\mathbf{u}|}{h} \right) \tau_b^2 + \tau_y^3 = 0$ ; Viscoplastico cohesivo.
- **3:** Bingham simplificado;  $\tau_b = \frac{3}{2}\tau_y + 3\mu_B \frac{|\mathbf{u}|}{h}$ ; Viscoplastico cohesivo.
- **4:** Coulomb turbulento;  $\tau_b = \tau_f + \rho g_\psi \frac{n^2 |\mathbf{u}|^2}{h^{1/3}}$ ;  $\tau_f = (\rho g_\psi h - \mathcal{P}_b) \tan \delta_f$ ; Turbulento friccional.
- **5:** Fluencia turbulenta;  $\tau_b = \tau_y + \rho g_\psi \frac{n^2 |\mathbf{u}|^2}{h^{1/3}}$ ; Turbulento cohesivo.
- **6:** Coulomb/fluencia turbulento;  $\tau_b = \min(\tau_y, \tau_f) + \rho g_\psi \frac{n^2 |\mathbf{u}|^2}{h^{1/3}}$ ;  $\tau_f = (\rho g_\psi h - \mathcal{P}_b) \tan \delta_f$  & Friccional/cohesivo y turbulento.
- **7:** Cuadrático;  $\tau_b = \tau_y + \frac{k_0}{8} \mu_B \frac{|\mathbf{u}|}{h} + \rho g_\psi \frac{n^2 |\mathbf{u}|^2}{h^{1/3}}$ ;  $k_0 = 24$ ; Cohesivo/viscoso y turbulento.
- **8:** Granular;  $\tau_b = \rho g_\psi h \tan \delta_f$ ; Friccional seco puro.
- **9:** Coulomb viscoplastico;  $\tau_b = \tau_f + \left( \frac{2m+1}{m} \right)^m \mu_P \left( \frac{|\mathbf{u}|}{h} \right)^m$ ;  $\tau_f = (\rho g_\psi h - \mathcal{P}_b) \tan \delta_f$ ; Adelgazamiento friccional  $m < 1$  o engrosamiento por cizalladura  $m > 1$ .
- **10:** Voellmy;  $\tau_b = \mathcal{A} \rho g_\psi h + \rho g_\psi \frac{|\mathbf{u}|^2}{B}$ ;  $\mathcal{A} \approx \tan \delta_f$  y  $B \approx h^{1/3}/n^2$ ; Friccional con presión intersticial despreciable.

#### Nota

##### NOTES:

- Para simular flujos de lodo de materiales gruesos, se recomienda utilizar Turbulent-Coulomb o Turbulent-Coulomb-Yield.
- Para simular flujos de lodo de materiales plásticos finos, normalmente la formulación de Bingham los representa mejor.
- La formulación Granular está destinada a simular materiales granulares secos, no flujos de lodo.
- En la formulación Granular, el ángulo de fricción es el ángulo de estabilidad basal del material, equivalente al ángulo de la superficie libre una vez que el material deja de fluir. Este ángulo de estabilidad basal varía según los distintos materiales, pero para obtener recorridos similares a los de los flujos de lodo debe estar en el intervalo de 1° a 8°, y nunca ser superior a 15° para materiales con baja tendencia a fluir. El uso de ángulos de

fricción cercanos a 30° hace que la movilización sea casi imposible con la formulación granular.

### 7.3.1 Viscosidad y esfuerzo de fluencia variables en el modelo de flujo bifásico VP-MB

Al utilizar el modelo bifásico Variable-Property Movable-Bed (VP-MB), el usuario puede seleccionar 1) que la viscosidad de Bingham  $\mu_B$  y el esfuerzo de fluencia  $\tau_y$  sean constantes en el tiempo y el espacio o, por el contrario, 2) que la viscosidad de Bingham  $\mu_B$  y el esfuerzo de fluencia  $\tau_y$  varíen en función de la concentración global de sólidos en cada celda.

La siguiente fórmula se utiliza para calcular la viscosidad local:

$$\mu_B = \alpha_1 \exp \left( \beta_1 \sum_{p=1}^N \phi_p \right)$$

y esta se utiliza para determinar el esfuerzo de fluencia local:

$$\tau_y = \alpha_2 \exp \left( \beta_2 \sum_{p=1}^N \phi_p \right)$$

donde  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ ,  $\alpha_2$  y  $\beta_2$  son coeficientes empíricos definidos por el usuario que pueden estimarse a partir de mediciones del fluido simulado o de experiencias y observaciones publicadas en la bibliografía. El DIP proporciona una serie de estos coeficientes que han demostrado ser útiles para reproducir inundaciones de relaves y fluidos fangosos en diferentes entornos.

## 7.4 Condiciones de contorno para el modelo de flujo bifásico *Variable-Properties Movable-Bed* (VP-MB)

Al utilizar esta opción, el usuario debe imponer la concentración volumétrica para cada fracción de sedimento en todos los contornos de entrada. Estos datos deben incluirse en el mismo archivo que establece las series temporales de caudal en cada entrada. Por ejemplo, si selecciona dos fracciones de sedimento y BCType = 6, donde la entrada se establece como caudal, un archivo típico debería ser así:

```
3
0 1000. 0.2 0.3
2 67000. 0.2 0.3
100 67000. 0.2 0.3
```

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

## 7.5 Introducción de datos para el modelo de flujo de lodos y relaves

Para introducir datos para una simulación de flujo de lodos y relaves, utilice el panel *Mud/Tailings Flow*. Asegúrese también de que la casilla *Mud/Tailings Flow* esté activa en el panel *Control Data*.

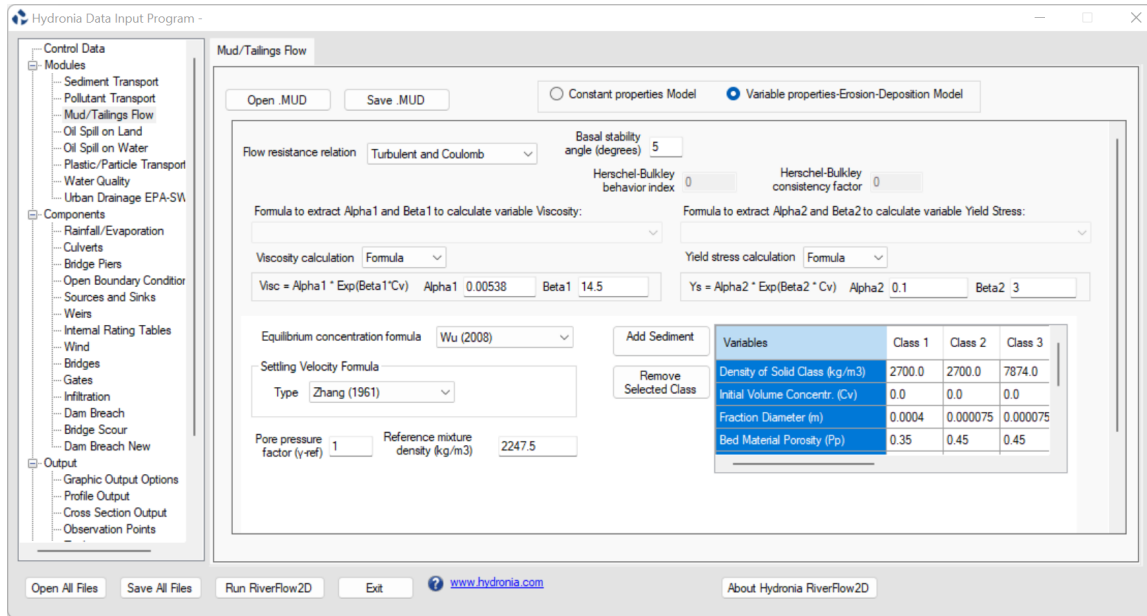


Figura 7.4 – Panel DIP Mud/Tailings Flow.

Según la relación de resistencia del flujo seleccionada, el usuario deberá introducir diferentes parámetros. Por ejemplo:

- La relación Manning turbulenta (1) solo necesita el parámetro de rugosidad  $n$ ;
- La formulación Bingham completo (2) requiere el esfuerzo de fluencia  $\tau_y$  y la viscosidad de Bingham  $\mu_B$ ;
- La formulación Coulomb viscoplástica (9) necesita el parámetro de viscosidad plástica  $\mu_P$ , el índice de comportamiento  $m$  y el ángulo de fricción basal  $\delta_f$  requerido para el cálculo de la resistencia de fluencia friccional  $\tau_f$ , así como los parámetros  $\gamma_{ref}$  y  $\rho_{ref}$  para la estimación de la presión intersticial basal  $P_b$ .

Cuando se selecciona el modelo Constant-Properties Fixed-Bed (CP-FB), el panel *Mud/Tailings Flow* proporciona funciones para determinar el esfuerzo de fluencia y la viscosidad basándose en fórmulas recomendadas en varias publicaciones. La figura siguiente presenta las fórmulas disponibles para establecer el esfuerzo de fluencia uniforme en función de la concentración volumétrica:

$$C_v = \frac{\text{Solid volume}}{\text{Total volume}}$$

|                                                |                                                       |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Wan & Wang. Boutou silt.....                   | $Y_s = 5.88 \cdot 10^{-3} \cdot \exp(19.1 \cdot C_v)$ |
| Wan & Wang. Tangu silt I and II.....           | $Y_s = 5.88 \cdot 10^{-3} \cdot \exp(32.1 \cdot C_v)$ |
| Wan & Wang. Zhengzhou loess.....               | $Y_s = 25.78 \cdot 10^{-2} \cdot C_v^{5.4}$           |
| Wan & Wang. Zhengzhou loess.....               | $Y_s = 98.98 \cdot 10^{-2} \cdot C_v^{5.4}$           |
| Wan & Wang. Kaoline bentonite.....             | $Y_s = 1.28 \cdot 10^{-3} \cdot C_v$                  |
| Julien (1998) for sands.....                   | $Y_s = 0.1 \cdot \exp(3 \cdot (C_v - 0.05))$          |
| Julien (1998) for 95% silt and 5% clays.....   | $Y_s = 0.1 \cdot \exp(13 \cdot (C_v - 0.05))$         |
| Julien (1998) for 70% silts and 30% clays..... | $Y_s = 0.1 \cdot \exp(23 \cdot (C_v - 0.05))$         |
| O'Brien (1988). Aspen pit.....                 | $Y_s = 0.181 \cdot \exp(25.7 \cdot C_v) / 10$         |
| O'Brien (1988). Aspen pit 4.....               | $Y_s = 2.72 \cdot \exp(10.4 \cdot C_v) / 10$          |
| O'Brien (1988). Aspen natural soil.....        | $Y_s = 0.152 \cdot \exp(18.7 \cdot C_v) / 10$         |
| O'Brien (1988). Aspen mine fill.....           | $Y_s = 0.0473 \cdot \exp(21.1 \cdot C_v) / 10$        |
| O'Brien (1988). Aspen natural soil source..... | $Y_s = 0.0383 \cdot \exp(19.6 \cdot C_v) / 10$        |
| O'Brien (1988). Aspen mine fill source.....    | $Y_s = 0.291 \cdot \exp(14.3 \cdot C_v) / 10$         |
| O'Brien (1988). Glenwood 1.....                | $Y_s = 0.0345 \cdot \exp(20.1 \cdot C_v) / 10$        |
| O'Brien (1988). Glenwood 2.....                | $Y_s = 0.0765 \cdot \exp(16.9 \cdot C_v) / 10$        |
| O'Brien (1988). Glenwood 3.....                | $Y_s = 0.000707 \cdot \exp(29.8 \cdot C_v) / 10$      |
| O'Brien (1988). Glenwood 4.....                | $Y_s = 0.00172 \cdot \exp(29.5 \cdot C_v) / 10$       |
| Dai et al. (1980).....                         | $Y_s = 2.6 \cdot \exp(17.48 \cdot C_v) / 10$          |
| Kang and Zhang (1980).....                     | $Y_s = 1.75 \cdot \exp(7.82 \cdot C_v) / 10$          |
| Quian et al. (1980).....                       | $Y_s = 0.00136 \cdot \exp(21.2 \cdot C_v) / 10$       |
| Chien and Ma (1958).....                       | $Y_s = 0.0588 \cdot \exp(19.1 \cdot C_v) / 10$        |
| Fei (1981).....                                | $Y_s = 0.166 \cdot \exp(25.6 \cdot C_v) / 10$         |

**Figura 7.5** – Fórmulas del esfuerzo de fluencia en función de la concentración volumétrica  $C_v$

La figura siguiente también enumera las fórmulas proporcionadas para determinar la viscosidad global uniforme a partir de la concentración volumétrica  $C_v$ .

|                                               |                                                                        |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Julien (1998) for sands.....                  | $Visc = 0.001 \cdot (1 + 2.5 \cdot C_v + \exp(10 \cdot (C_v - 0.05)))$ |
| Julien (1998) for silts and clays.....        | $Visc = 0.001 \cdot (1 + 2.5 \cdot C_v + \exp(23 \cdot (C_v - 0.05)))$ |
| O'Brien (1988) Aspen pit 1.....               | $Visc = 0.036 \cdot \exp(22.1 \cdot C_v) / 10$                         |
| O'Brien (1988) Aspen pit 4.....               | $Visc = 0.0538 \cdot \exp(14.5 \cdot C_v) / 10$                        |
| O'Brien (1988) Aspen natural soil.....        | $Visc = 0.00136 \cdot \exp(28.4 \cdot C_v) / 10$                       |
| O'Brien (1988) Aspen mine fill.....           | $Visc = 0.128 \cdot \exp(12 \cdot C_v) / 10$                           |
| O'Brien (1988) Aspen natural soil source..... | $Visc = 0.000495 \cdot \exp(27.1 \cdot C_v) / 10$                      |
| O'Brien (1988) Aspen mine fill source.....    | $Visc = 0.000201 \cdot \exp(33.1 \cdot C_v) / 10$                      |
| O'Brien (1988) Glenwood 1.....                | $Visc = 0.00283 \cdot \exp(23 \cdot C_v) / 10$                         |
| O'Brien (1988) Glenwood 2.....                | $Visc = 0.648 \cdot \exp(6.2 \cdot C_v) / 10$                          |
| O'Brien (1988) Glenwood 3.....                | $Visc = 0.00632 \cdot \exp(19.9 \cdot C_v) / 10$                       |
| O'Brien (1988) Glenwood 4.....                | $Visc = 0.000602 \cdot \exp(33.1 \cdot C_v) / 10$                      |
| Iida (1938).....                              | $Visc = 0.0000373 \cdot \exp(36.6 \cdot C_v) / 10$                     |
| Dai et al. (1980).....                        | $Visc = 0.0075 \cdot \exp(14.39 \cdot C_v) / 10$                       |
| Kang and Zhang (1980).....                    | $Visc = 0.0405 \cdot \exp(8029 \cdot C_v) / 10$                        |

**Figura 7.6** – Fórmulas de la viscosidad en función de la concentración volumétrica  $C_v$

El panel *Mud/Tailings Flow* también calcula la densidad global uniforme  $\rho$  como función de la concentración volumétrica  $C_v$  y de la densidad del agua  $\rho_w$  mediante la siguiente fórmula:

$$\rho = \rho_w (1 + 1.65 C_v)$$

# 8

## Modelo de drenaje urbano: UD

La modelización hidrológica e hidráulica en entornos urbanos se ha convertido en una herramienta esencial para predecir, evaluar y mitigar los efectos de los eventos de tormenta debido a la insuficiencia de las redes de drenaje. Cuando esto ocurre, el agua desborda hacia la superficie en los elementos de conexión, los pozos de registro o los pozos de almacenamiento. La simulación numérica del flujo superficial mediante modelos distribuidos proporciona una evaluación detallada de las variaciones espaciales de las variables hidráulicas, como la velocidad del flujo y las profundidades del agua. Esto es especialmente importante en topografías abruptas e irregulares o en zonas urbanas donde los edificios afectan considerablemente a la distribución del flujo.

El módulo UD de RiverFlow2D integra las amplias capacidades de agua superficial de RiverFlow2D con el modelo de drenaje pluvial de código abierto SWMM, estándar del sector, desarrollado por la Environmental Protection Agency de EE. UU. SWMM contiene un conjunto flexible de capacidades de modelización hidráulica utilizadas para conducir la escorrentía y los caudales externos a través de la red de drenaje de conductos. Se pueden encontrar más detalles sobre estos modelos en Rossman (2015) y Rossman (2017).

Un aspecto clave del acoplamiento del modelo de drenaje superficial es la interacción entre los modelos (Leandro (2016), Rubinato (2017)). La metodología adoptada en RiverFlow2D garantiza una conservación perfecta de la masa para todo el dominio computacional (superficial y de drenaje pluvial) mediante el cálculo del intercambio de agua en función de las condiciones hidráulicas en cada paso de tiempo.

El acoplamiento entre el modelo de flujo superficial 2D Shallow Water de RiverFlow2D y el modelo de alcantarillado pluvial SWMM 5.1 puede gestionar condiciones transitorias en ambos dominios y funciona con mallas triangulares flexibles.



## 8.1 Modelo de flujo en tuberías 1D

En este trabajo, la conducción del flujo en tuberías se modeliza mediante la parte de conducción del software SWMM 5.1 (Rossman (2017)), que transporta los caudales superficiales entrantes a través de un sistema de tuberías diseñado por el usuario, que conforma una red de enlaces conectados entre sí en nodos. La conducción del flujo de agua se rige por las ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento de St. Venant 1D:

$$\frac{\partial A}{\partial t} - \frac{\partial Q}{\partial x} = q_e$$

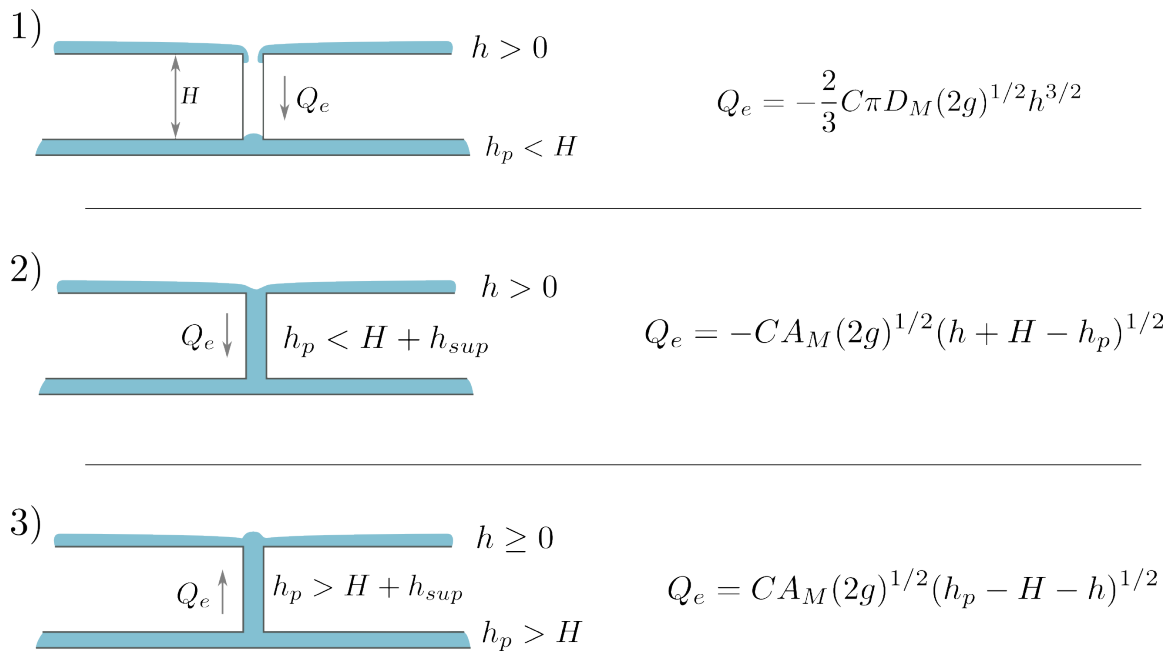
$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial h_p}{\partial x} - g (S_0 - S_f) = 0$$

donde  $A$  es el área transversal del flujo,  $Q$  es el caudal,  $h_p$  es la profundidad del agua en el conducto y  $q_e$  es el caudal de intercambio  $f_M$  por unidad de longitud.

El método de solución implica una discretización mediante diferencias finitas con un método implícito de Euler hacia atrás para proporcionar estabilidad numérica adicional (Rossman (2017)).

## 8.2 Intercambio de agua entre los modelos RiverFlow2D y SWMM

Pueden darse varias situaciones relacionadas con el intercambio de flujo entre el flujo superficial y el sistema de aguas pluviales. La figura muestra todos los escenarios posibles: 1) Entrada en un alcantarillado no presurizado, 2) Entrada en un alcantarillado presurizado, 3). Salida sobre la llanura de inundación (húmeda o seca). En cada paso de tiempo, un algoritmo interno compara los valores de la profundidad del agua superficial ( $h$ ), la carga de presión en la tubería ( $h_p$ ) y la distancia entre el fondo del canal y la cota de solera del alcantarillado ( $H = z + (z_p + H_{max})$ ), para estimar adecuadamente el caudal de intercambio en función del diámetro del pozo de registro  $D_M$ , el área del pozo de registro  $A_M$  y un coeficiente  $C$  que tiene en cuenta las pérdidas de energía en el pozo de registro. La forma particular utilizada para formular el caudal de intercambio  $Q_e$  sigue de cerca la formulación propuesta en Rubinato et al. (2017).

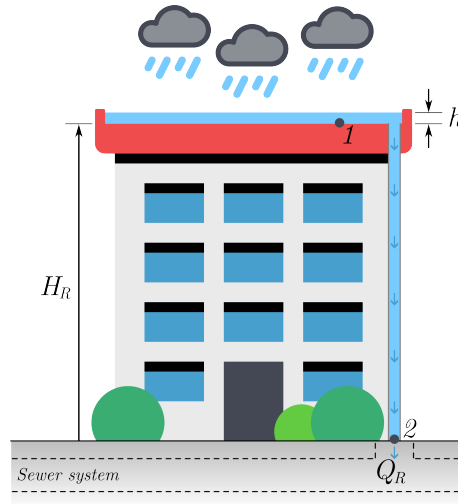


**Figura 8.1** – Posibles escenarios hidráulicos en el modelo acoplado RiverFlow2D EPA-SWMM.

Para garantizar una conexión eficiente y conservativa en volumen entre RiverFlow2D y SWMM, el paso de tiempo de RiverFlow2D siempre registrará el avance temporal de la simulación.

## 8.3 Herramienta de azoteas

Esta herramienta permite conectar todas las celdas situadas sobre un polígono de intercambio, como una azotea, a un pozo de registro de SWMM. Las celdas no intercambiarán flujo con las demás celdas de la malla y solo recibirán agua de la lluvia o de una fuente. En esta sección se describe un procedimiento básico para estimar el caudal de agua que circula por la tubería de drenaje que conduce el agua de lluvia desde la azotea hasta el nivel de la calle. Estos sistemas son habituales en los edificios urbanos y desempeñan un papel crucial en el drenaje de aguas pluviales. La estimación precisa del flujo dentro de estas tuberías es importante no solo para garantizar una evacuación eficiente del agua, sino también para dimensionar correctamente los componentes, prevenir desbordamientos y evitar daños estructurales.



**Figura 8.2** – Diagrama esquemático de un sistema de drenaje de azotea. La tubería vertical transporta el agua de lluvia desde el tejado (elevación  $z_2$ ) hasta el nivel de la calle (elevación  $z_1$ ).

El enfoque presentado aquí se basa en principios fundamentales de la mecánica de fluidos. El análisis comienza con la aplicación de la ecuación de energía entre los puntos 1 y 2, que relaciona las distintas formas de energía presentes en un sistema de flujo de fluidos. Al realizar simplificaciones adecuadas, como suponer un flujo estacionario, diferencias de presión despreciables y una diferencia de altura vertical conocida  $H_R$ , el problema puede reducirse a una forma resoluble. Las pérdidas por fricción y locales se agrupan en un único coeficiente  $K_T$ :

$$\left( \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z \right)_1 - \left( \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z \right)_2 = -K_T Q_R^2$$

donde  $p$  es la presión,  $v$  es la velocidad del agua,  $Q_R$  es el caudal de agua que circula por la tubería de la azotea,  $\rho$  es la densidad del agua,  $g$  es la aceleración debida a la gravedad y  $z$  es la elevación.  $K_T$  es un coeficiente de pérdidas dimensional considerado como un dato obligatorio del usuario. Puede aproximarse en función del material, la longitud y el diámetro de la tubería de conexión de la siguiente manera:

$$K_T = fL/D \left( \frac{1}{2gA^2} \right)$$

Donde  $D$  es el diámetro de la tubería,  $A$  es el área de la sección transversal de la tubería y  $f$  es el coeficiente de fricción según el diagrama de Moody.

Las suposiciones para la simplificación son:

- La presión en la entrada y la salida es atmosférica ( $p_{atm}$ ). Por tanto,  $p_1 = p_{atm}$  y  $p_2 = p_{atm} + \rho gh$ , siendo  $h$  la profundidad instantánea del agua sobre la azotea.
- El flujo en la tubería es estacionario durante el paso de tiempo, por lo que  $v_1 = v_2$
- La diferencia de elevación es el principal impulsor del flujo.

Bajo estas suposiciones, la ecuación de energía se simplifica a:

$$h + H_R = -K_T Q_R^2$$

donde  $H_R = z_2 - z_1$  es la altura del edificio considerado.

Ahora el caudal de agua se calcula como

$$Q_R = \sqrt{\frac{H_R + h}{K_T}}$$

Una vez estimado el caudal de agua  $Q_R$  que circula por la tubería de drenaje mediante el método descrito anteriormente, se introduce como un caudal externo en un modelo de drenaje urbano sub-superficial desarrollado con SWMM Storm Water Management Model. En SWMM, estos caudales suelen representarse como caudales externos en nodos específicos de la red de alcantarillado. Estos nodos corresponden a las ubicaciones donde la escorrentía de las azoteas u otras superficies impermeables entra en el sistema de drenaje.

# 9

## Modelo de transporte de contaminantes: PL

El estudio de los fenómenos de transporte de solutos y de la mezcla en ríos se ha convertido en una preocupación importante en problemas hidráulicos y ambientales. RiverFlow2D Pollutant Transport Model proporciona una herramienta para calcular las concentraciones de múltiples contaminantes en una variedad de situaciones fluviales y estuarinas.

Un soluto o contaminante se define como cualquier sustancia que es transportada por el agua y está bien mezclada en la dirección vertical. El interés de simular el transporte de contaminantes suele centrarse en determinar la evolución temporal de la concentración de un soluto dentro de un sistema hidrodinámico complejo, es decir, dada la concentración del soluto en un momento y espacio específicos, el modelo determina la distribución espacial de las concentraciones del soluto para tiempos futuros. Este proceso físico se tiene en cuenta mediante la ecuación de advección-dispersión y puede incorporar el efecto de la reacción con el agua y con otros solutos.

### 9.1 Ecuaciones del modelo

Aunque RiverFlow2D PL puede manejar múltiples contaminantes simultáneamente, para mayor claridad en esta sección se presenta el transporte de un solo soluto acoplado al modelo 2D. Las ecuaciones de transporte de contaminantes se expresarán en forma conservativa, suponiendo que las velocidades y la profundidad del agua pueden no variar suavemente en el espacio y el tiempo. En consecuencia, el modelo de aguas someras 2D con transporte de solutos puede escribirse en un único sistema acoplado:

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

donde

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

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

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

y  $\phi$  es la concentración de soluto promediada en profundidad. Los términos fuente asociados a la ecuación de transporte de solutos se expresan de la siguiente manera:

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

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

## 9.2 Solución numérica del transporte de contaminantes mediante volúmenes finitos

En RiverFlow2D, el transporte de solutos se ha considerado dejando de lado la consideración relativa a los términos de difusión. Sin embargo, se han desarrollado muchas estrategias, como dividir y calcular por separado los términos de advección y difusión, o resolver la difusión implícitamente, para evitar valores pequeños en el tamaño del paso temporal debido a la combinación del número CFL y el número de Peclet.

La resolución numérica de la ecuación de transporte de solutos mediante un método explícito de volúmenes finitos se realiza frecuentemente resolviendo la concentración promediada en profundidad aparte de las ecuaciones de aguas someras, es decir, utilizando un algoritmo desacoplado más sencillo. Una vez resueltas las ecuaciones hidrodinámicas, las sustancias o solutos correspondientes son transportados por advección con este campo de flujo previamente calculado.

Para obtener un método totalmente conservativo, RiverFlow2D considera el sistema completo, incluidas las ecuaciones hidrodinámicas y de transporte. Matemáticamente, el sistema completo conserva la propiedad de hiperbolicidad, lo que implica la existencia de una matriz jacobiana de  $4 \times 4$  para el modelo 2D. Sobre esta base podemos aplicar el procedimiento directo descrito anteriormente, permitiendo una linealización local de Roe y expresando las contribuciones que llegan a la celda como una suma de ondas. Para garantizar la conservación y valores acotados en la concentración final de solutos incluso en casos extremos, se implementó en RiverFlow2D una redistribución conservativa de los flujos máximos de soluto, tal como se propuso en.

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

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

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

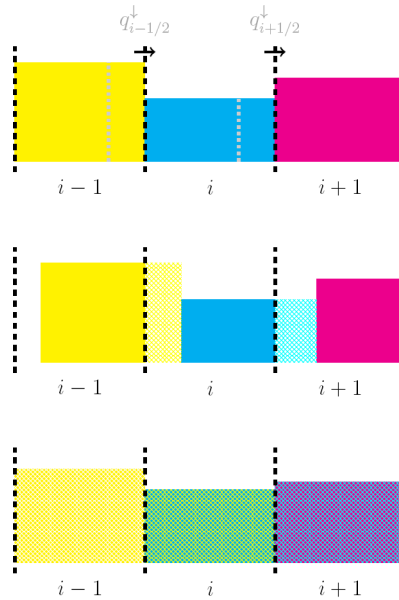
$$(h\phi)_i^{n+1} = (h\phi)_i^n - \frac{\Delta t}{A_i} \sum_{k=1}^{N_E} (q\phi)_k^\downarrow l_k$$

donde

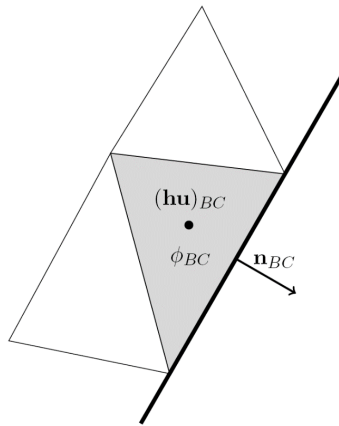
$$\phi_k^\downarrow = \begin{cases} \phi_i & \text{si } q_k^\downarrow > 0 \\ \phi_j & \text{si } q_k^\downarrow < 0 \end{cases}$$

en la celda  $i$ . Las figuras siguientes muestran esquemas de los flujos.

Desde un punto de vista físico, la nueva masa de soluto en una celda fija puede considerarse como un intercambio de volúmenes de agua con una concentración determinada a través de las paredes vecinas y su mezcla (método de tipo Godunov de volúmenes finitos) con la masa anterior existente en el tiempo previo. De acuerdo con esta filosofía, las celdas de contorno de salida requerirán un tratamiento especial al aplicar esta técnica para extraer la masa de soluto correspondiente a través de las paredes de contorno. Por esta razón, es 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 actualizar la celda de contorno BC.



**Figura 9.1** – Representación física del intercambio de masa de soluto entre celdas con  $q_{i-1/2}^\downarrow, q_{i+1/2}^\downarrow > 0$ .

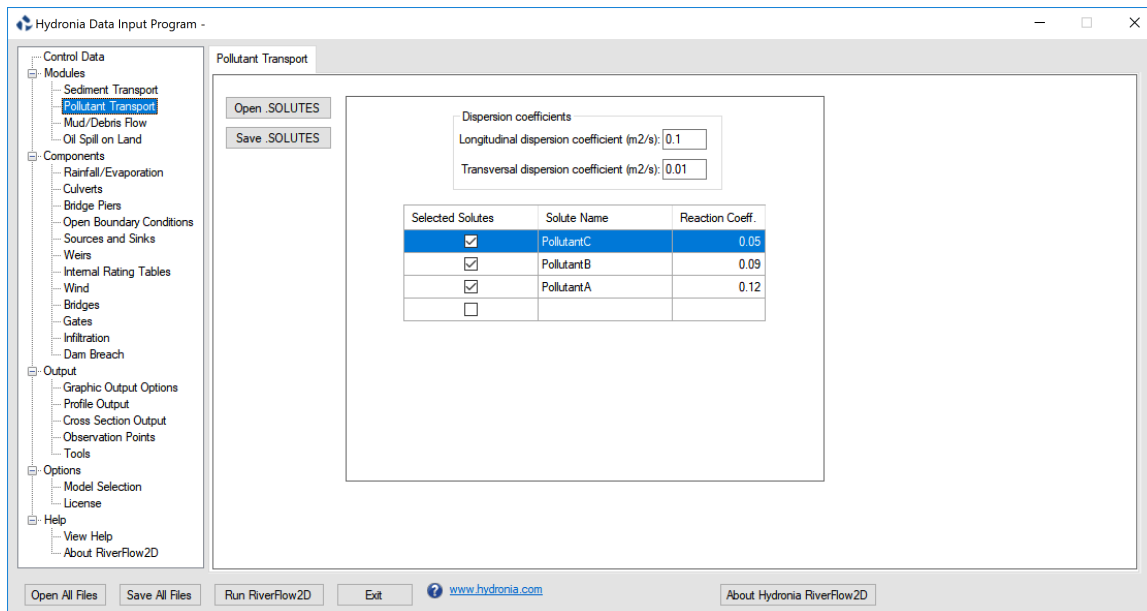


**Figura 9.2** – Extracción de masa de soluto en una celda de contorno de salida.

Como se muestra, la formulación se reduce a calcular una clase de flujo numérico  $q^\downarrow$  utilizando los valores medios ya calculados en cada arista. Además de garantizar una conservación perfecta y soluciones acotadas y libres de oscilaciones (Murillo et al, 2012), esta sencilla discretización reduce sustancialmente el número de cálculos que serían necesarios para el sistema acoplado completo.

## 9.3 Introducción de datos para el modelo de transporte de contaminantes de contaminantes

Para introducir datos para una simulación de transporte de contaminantes, utilice el panel *Pollutant Transport*. Asegúrese también de que la casilla de verificación Pollutant Transport esté activa en la pestaña Control Data.



**Figura 9.3** – Panel DIP *Pollutant Transport*.



## 9.4 Supuestos del modelo de transporte de contaminantes

Los principales supuestos involucrados en la versión actual del modelo RiverFlow2D son:

1. No existe un límite predeterminado para el número de contaminantes.
2. Las unidades de concentración de los contaminantes son arbitrarias. El usuario puede utilizar concentración en volumen, mg/l, ppt, ppm o cualquier otra unidad adecuada, siempre que las condiciones de contorno de entrada sean coherentes.
3. Se supone que la interacción entre solutos y entre cada soluto y el agua corresponde a reacciones de primer orden.
4. Todos los contornos de entrada donde se imponga el caudal o la elevación del agua deben proporcionar una serie temporal de concentraciones para cada contaminante.

# 10

## Modelo de calidad del agua: módulo WQ

En este capítulo se presenta un solucionador 2D de flujo de aguas someras integrado con un modelo de calidad del agua. La interacción entre los principales constituyentes de calidad del agua incluidos se basa en el Water Quality Analysis Simulation Program. El modelo numérico propuesto se evalúa en casos que incluyen el transporte y la reacción de componentes de calidad del agua sobre una topografía de fondo irregular y frentes seco-mojado, verificando que la solución numérica en estas situaciones conserva las propiedades requeridas (propiedad C y positividad). El modelo puede operar en cualquier forma estacionaria o no estacionaria, lo que permite una evaluación eficiente del impacto ambiental de los flujos de agua.

Las configuraciones de este módulo siguen la estructura indicada en la tabla:

Una X marca las opciones que incluyen cada variable de estado:

| Variable de estado                                    | Opción 1 | Opción 2 | Opción 3 | Opción 4 |
|-------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Ammonium nitrogen<br>( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ )   |          |          | X        | X        |
| Nitrate Nitrogen<br>( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ )    |          |          | X        | X        |
| Inorganic phosphorus (IP)                             |          |          |          | X        |
| Phytoplankton carbon (PHYT)                           |          |          |          | X        |
| Ultimate carbonaceous biological oxygen demand (CBOD) | X        | X        | X        | X        |

| Variable de estado           | Opción 1 | Opción 2 | Opción 3 | Opción 4 |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Dissolved oxygen (DO)        | X        | X        | X        | X        |
| Organic nitrogen (ON)        |          |          | X        | X        |
| Organic phosphorus (OP)      |          |          |          | X        |
| Temperature (T)              |          | X        |          | X        |
| Total coliform bacteria (TC) |          |          |          | X        |

### Oxígeno disuelto

El DO ( $\phi_6$ ) es uno de los parámetros más importantes de la calidad del agua, porque es un requisito básico para un ecosistema acuático saludable. La concentración de DO en un curso de agua puede cambiar mediante un intercambio con la atmósfera (coeficiente  $k_a$ ) y el crecimiento de algas (fotosíntesis).

Sin embargo, su agotamiento se debe a la oxidación del carbono orgánico (afectada por el coeficiente  $k_d$ ), la nitrificación ( $k_{12}$ ), la muerte de las algas (respiración  $k_{1R}$ ) y la demanda de oxígeno de los sedimentos (SOD), definida como la tasa de DO necesaria para la oxidación de materia orgánica en sedimentos bentónicos. La concentración de DO oscila con frecuencia en la columna de agua, pero su oscilación es mayor cuando se origina por la actividad humana (Gordillo et al. 2020). El proceso completo que incluye todas estas ganancias y pérdidas de DO en la columna de agua puede expresarse como  $R_6$ .

### DBO carbonosa

La DBO carbonosa (CBOD;  $\phi_5$ ) es la concentración de material orgánico presente en el cuerpo de agua. Este proceso ( $R_5$ ) incluye los efectos de la sedimentación, la oxidación ( $k_d$ ) y la desnitrificación ( $k_{2D}$ ). Las principales fuentes de CBOD son las fuentes artificiales, la muerte de algas ( $k_{1d}$ ) y la escorrentía natural. Existe una interacción mutua entre los componentes CBOD y DO, por lo que, en particular, el nivel de DO disminuirá cuando la inyección de CBOD sea continua en el tiempo, provocando un déficit de oxígeno (Gordillo et al. 2020).

### Fitoplancton

La calidad de un cuerpo de agua puede verse afectada por la presencia de fitoplancton ( $\phi_4$ ). Esta población puede acelerarse por la adición de nutrientes (nitrógeno y fósforo), ya sea por actividades humanas o por procesos naturales. El exceso de nutrientes favorece un mayor crecimiento de la población. Este crecimiento descontrolado se denomina comúnmente eutrofización. Cuando esta población alcanza un tamaño considerable, puede causar variaciones diurnas de DO que pueden ser fatales para la vida de los peces. Además, la presencia de fitoplancton puede causar problemas de sabor y olor en el agua.

El modelo considera dos de los tres sistemas dependientes principales: la población de fitoplancton y el sistema de nutrientes. Las variables del entorno externo que afectan a esos sistemas son la temperatura, el flujo advectivo y la radiación solar. El enfoque clásico consiste en suponer que estos efectos son multiplicativos. Por tanto, el aumento del fitoplancton en ríos y cursos de agua se debe a la disponibilidad de nutrientes y energía solar, mientras que su reducción ocurre principalmente mediante la respiración (Gordillo et al. 2020). Una representación simplificada de este proceso viene dada por  $R_4$ .

### DBO nitrogenada (NBOD)

El nitrógeno puede encontrarse en cinco formas principales en los entornos acuáticos: nitrógeno orgánico (ON), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y gas nitrógeno disuelto ( $\text{N}_2$ ). Los procesos secuenciales de transformación de los compuestos nitrogenados convierten ON en  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2^-$  y finalmente en  $\text{NO}_3^-$  (Gordillo et al. 2020).

El ON ( $\phi_7$ ) originalmente presente en el agua se transforma parcialmente en  $\text{NH}_3$  y se deposita parcialmente en el fondo; mientras tanto, el aumento de ON se debe a la muerte del fitoplancton. La ecuación cinética del ON que describe estos procesos se expresa como  $R_7$ , involucrando ( $k_{71}$ ). El  $\text{NH}_3$  ( $\phi_1$ ) es uno de los compuestos intermedios formados durante el metabolismo biológico y, junto con el ON, se considera un indicador de contaminación reciente. La concentración de amoníaco aumenta por el cambio de ON a  $\text{NH}_3$  debido a la mineralización y por la producción de nitrógeno debida a la muerte y respiración del fitoplancton. Al mismo tiempo, su concentración se reduce por la absorción para el crecimiento del fitoplancton y por el cambio de  $\text{NH}_3$  a  $\text{NO}_3^-$  debido a la nitrificación. El proceso cinético correspondiente a esta variable de estado es  $R_1$ .

El  $\text{NO}_3^-$  ( $\phi_2$ ), producto final de la nitrificación, representa la suma de  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$  (la cantidad de  $\text{NO}_2^-$  presente en aguas naturales suele ser muy pequeña). Su reducción se debe al crecimiento del fitoplancton y al proceso de desnitrificación ( $k_{2D}$ ); mientras tanto, su aumento es generado por el proceso de nitrificación ( $k_{12}$ ). Por tanto, la concentración total de nitrato puede expresarse como  $R_2$ .

### Fósforo (OP, $\text{PO}_3^-$ )

Para modelar el ciclo del fósforo, se tienen en cuenta dos ecuaciones cinéticas individuales: fósforo orgánico (OP) ( $\phi_8$ ) y fósforo inorgánico  $\text{PO}_3^-$  3 ( $\phi_3$ ) (Gordillo et al. 2020).

La producción de OP se debe a la muerte y respiración del fitoplancton. Por el contrario, la pérdida de OP se debe a la mineralización y al proceso de sedimentación ( $R_8$ ). La cinética de  $\text{PO}_3^-$  se ve afectada por la absorción para el crecimiento del fitoplancton. Sin embargo, la producción de fósforo se debe a la muerte, respiración y mineralización del fitoplancton. Por tanto, la ecuación matemática para  $\text{PO}_3^-$  puede expresarse como  $R_3$ .

Todas las ecuaciones cinéticas que describen el aumento o la disminución de las variables de estado en el tiempo, así como todos los coeficientes que controlan la tasa de los procesos, se resumen en tablas.

### Temperatura

La integridad de todos los procesos puede verse afectada considerablemente por la temperatura del río. Las temperaturas del agua altas o bajas generan un riesgo potencial para la biota acuática

y para las reacciones biológicas y químicas. Además, los coeficientes de velocidad de la mayoría de las reacciones en aguas naturales se ven afectados por la temperatura (Gordillo et al. 2020). En el presente trabajo, algunos de los coeficientes de los procesos de biodegradación  $k_b$  se han hecho dependientes de la temperatura tomando como referencia la tasa a 20 °C (Ji, 2017), como sigue:

$$k_b(T) = k_b(20)\theta^{\theta_R(T - 20)}$$

donde  $T$  es la temperatura en grados Celsius,  $k_b$  es la tasa de biodegradación y  $\theta_R$  es un factor de corrección de temperatura para cada proceso. Según Chapra (2008), el factor de corrección está acotado por  $1.01 < \theta_R < 1.1$  para la mayoría de los procesos estacionarios.

- En este estudio, siguiendo a Edinger et al. (1968), se ha incluido un modelo de transporte de temperatura suponiéndola una variable escalar cuya evolución también puede formularse siguiendo una ecuación de advección–reacción. El balance térmico total de un cuerpo de agua incluye los efectos de la profundidad del agua, la velocidad y las condiciones atmosféricas. Para ello, resulta útil estimar la temperatura media diaria del curso de agua basándose en las condiciones climáticas (Gu: Li 2002; Herb; Stefan 2011).

## 10.1 Ecuaciones de las variables de estado hidrodinámicas y de calidad del agua

El flujo de agua con una superficie libre puede describirse mediante ecuaciones que conservan la masa y la cantidad de movimiento:

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

con:

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

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

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

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

$$q_x = uh$$

$$q_y = vh$$

$(u, v)$  = Componentes promedio del vector de velocidad **u** a lo largo de x e y

$h$  = profundidad

La ecuación de transporte se escribe como:

$$\frac{\partial(h\phi_i)}{\partial t} + \frac{\partial(hu\phi_i)}{\partial x} + \frac{\partial(hv\phi_i)}{\partial y} = E \frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial \phi_i}{\partial x} \right) + E \frac{\partial}{\partial y} \left( h \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \right) \pm hR_i \pm f_i$$

donde  $\phi_i$  es la concentración media de cada variable de estado,  $E$  es el coeficiente de dispersión,  $f_i$  fuentes puntuales y no puntuales, y  $R_i$  representa la formación o el consumo de cada constituyente. El término  $R_i$  se establece de acuerdo con la matriz de Petersen. La matriz está compuesta por procesos (filas) y variables de estado (columnas), con elementos dentro de la matriz que incluyen coeficientes estequiométricos que establecen las relaciones entre los componentes en los procesos individuales. La matriz general para simular las opciones de la tabla se definirá de acuerdo con las tablas.

# 11

## Socavación en puentes

Los cálculos de socavación de puentes implementados en RiverFlow2D se basan en los métodos desarrollados por el Departamento de Transporte de los Estados Unidos y descritos detalladamente en la Circular de Ingeniería Hidráulica n.º 18. RiverFlow2D incluye herramientas para calcular la socavación de pilas y estribos mediante DIP.

### 11.1 Método HEC-18 para la socavación de pilas

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

$$y_s = y_1 2.0 K_1 K_2 K_3 \left( \frac{a}{y_1} \right)^{0.65} Fr^{0.43}$$

donde:

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

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

$K_1$  = Factor de corrección para la forma del frente de la pila.

$$K_2 = (\cos \alpha + \max(L/a, 12.) \sin \alpha)^{0.65}$$

$\alpha$  es el ángulo de ataque en radianes,

$K_3$  = Factor de corrección para la condición del lecho,

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

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

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

$V_1$  = Velocidad media del flujo directamente aguas arriba de la pila, ft/s o m/s,

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

## 11.2 Socavación de pilas en material de lecho grueso

La ecuación solo es aplicable a condiciones de flujo de agua clara y a materiales de lecho grueso con  $D_{50} = 20$  mm y  $\sigma \geq 1.5$ .

$$y_s = 1.1K_1K_2a^{0.62}y_1^{0.38} \tanh \frac{FrD^2}{1.97\sigma^{1.5}}$$

donde:

$y_s, K_1, K_2, a, y_1, yV_1$  están definidos como anteriormente:

$FrD$  = Número de Froude densimétrico de las partículas =  $V_1 / \sqrt{g(Sg - 1)D_{50}}$ ,

$Sg$  = Gravedad específica del sedimento,

$D_{50}$  = Tamaño mediano del material del lecho, ft o m,

$D_{84}$  = Tamaño del sedimento  $D_{84}$ , ft o m,

$\sigma$  = Coeficiente de gradación del sedimento =  $D_{84}/D_{50}$ .

## 11.3 Socavación de pilas en materiales cohesivos

$$y_s = 2.2K_1K_2a^{0.65} \left( \frac{2.6V_1 - V_c}{\sqrt{g}} \right)^{0.7}$$

donde  $y_s, K_1, K_2, a, yV_1$  están definidos anteriormente y:

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

## 11.4 Ancho superior e inferior de los hoyos de socavación de pilas

Para calcular el ancho superior de los hoyos de socavación de pilas utilizamos la siguiente ecuación:

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

$$W_{bottom} = Ky_s$$

donde:

$W$  es el ancho superior del hoyo de socavación,

$W_{bottom}$  = ancho inferior del hoyo de socavación,

$K$  = ancho inferior del hoyo de socavación relacionado con la profundidad de socavación,

$\theta$  = ángulo de reposo del material del lecho.

## 11.5 Socavación de estribos

Estas son las ecuaciones utilizadas para calcular la socavación de estribos.

$$Y_{max}LB = \alpha_a Y_c LB$$



$$Y_{max}CW = \alpha_b Y_c CW$$

$$Y_{sA} = \text{Max}(Y_{max}LB, Y_{max}CW) - Y_1$$

$$Y_{cLB} = Y_1(q_{2c}/q_1)^{6/7}$$

$$Y_{cCW1} = (q_{2c}/(K_4 D^{50^{1/3}}))^{6/7}$$

$$Y_{cCW2} = (\gamma_w/\tau_c)(n q_{2c}/K_5)^{6/7}$$

donde:

$K_4 = 11.17$  para unidades inglesas y  $6.19$  para unidades SI,

$\gamma_w = 62.4$  Sw para unidades inglesas,

$\gamma_w = 9800$  Sw para unidades SI,

Sw es el peso específico del agua,

$V = q_1/y_1$ ,

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

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

Donde  $K_u$  es  $11.17$  para unidades inglesas y  $6.19$  para unidades SI,

Si  $V \geq V_c$ , entonces se utilizan condiciones de lecho móvil,

Si  $V < V_c$ , entonces se utilizan condiciones de agua clara.

### 11.5.1 Factor de amplificación de la socavación para estribos de paso abierto y condiciones de lecho móvil

Para determinar el factor de amplificación de la socavación para estribos de paso abierto y condiciones de lecho móvil se utilizan las siguientes regresiones.

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

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

Para  $x \in [1., 1.23]$

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

Para  $x \in (1.23, 1.60]$

$$y(x) = -1968.9x^6 + 16589x^5 - 58072x^4 + 108127x^3 - 112948x^2 + 62766x - 14497$$

Para  $x \in (1.60, 3]$

$$y(x) = 0.076x^6 - 1.136x^5 + 7.1218x^4 - 24.031x^3 + 46.166x^2 - 48.086x + 22.476$$

Para  $x > 3$ ,  $y = y(3)$ . No se permite  $x < 1$ .

### 11.5.2 Factor de amplificación de la socavación para estribos con aletas y condiciones de lecho móvil

Para determinar el factor de amplificación de la socavación para estribos con aletas y condiciones de lecho móvil se utilizan las siguientes regresiones.

$$x = q2c/q1$$

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

Para  $x \in [1., 1.24]$ ,

$$y = 1085.1x^5 - 6379.4x^4 + 15009x^3 - 17670x^2 + 10414x - 2457.2$$

Para  $x \in (1.24, 1.60]$

$$y = -449.86x^6 + 3796.2x^5 - 13319x^4 + 24872x^3 - 26082x^2 + 14567x - 3384.9$$

Para  $x \in (1.60, 3]$

$$y = 0.1371x^4 - 1.469x^3 + 6.0171x^2 - 11.221x + 9.1721$$

Para  $x > 3$ ,  $y = y(3)$ . No se permite  $x < 1$ .

### 11.5.3 Factor de amplificación de la socavación para estribos de paso abierto y condiciones de agua clara

Para determinar el factor de amplificación de la socavación para estribos de paso abierto y condiciones de agua clara se utilizan las siguientes regresiones.

$$x = q2c/q1$$

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

Para  $x \in [1., 1.45]$

$$y = 443.57x^5 - 2769.4x^4 + 6913.2x^3 - 8630.8x^2 + 5393.6x - 1349.2$$

Para  $x \in (1.45, 5]$

$$y = 0.0061x^5 - 0.1193x^4 + 0.9027x^3 - 3.1887x^2 + 4.7646x - 0.2761$$

Para  $x > 5$ ,  $y = y(5)$ . No se permite  $x < 1$ .

### 11.5.4 Factor de amplificación de la socavación para estribos con aletas y condiciones de agua clara

Para determinar el factor de amplificación de la socavación para estribos con aletas y condiciones de agua clara se utilizan las siguientes regresiones.

$$x = q2c/q1$$

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

Para  $x \in [1., 1.18]$

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

Para  $x \in (1.18, 5]$

$$y = -0.0033x^6 + 0.0639x^5 - 0.5041x^4 + 2.0151x^3 - 4.1113x^2 + 3.2197x + 2.0841$$

Para  $x > 5$ ,  $y = y(5)$ . No se permite  $x < 1$ .

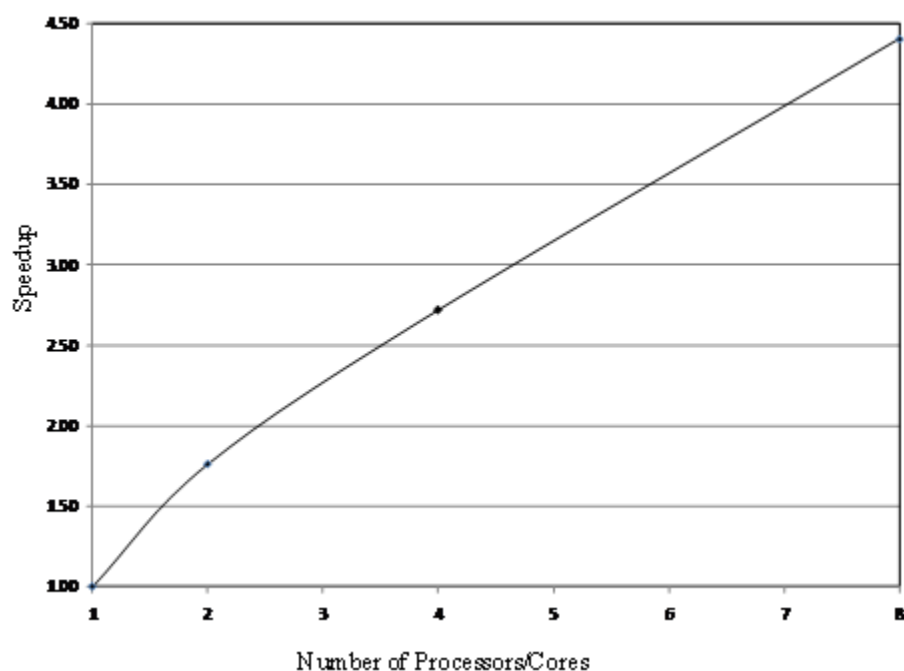
# 12

## Paralelización del código

### 12.1 CPU de RiverFlow2D

El código de RiverFlow2D ha sido paralelizado mediante directivas OpenMP disponibles en el compilador Intel C++. La interfaz de programación de aplicaciones (API) de OpenMP admite programación paralela multiplataforma con memoria compartida en C/C++ y Fortran sobre arquitecturas, incluidas las plataformas MAC OS, Unix y Windows (OpenMP, 2009). OpenMP proporciona instrucciones para paralelizar códigos seriales existentes para que se ejecuten en plataformas con memoria compartida, desde computadoras asequibles y ampliamente disponibles con múltiples núcleos hasta supercomputadoras. Mediante este enfoque de paralelización, RiverFlow2D distribuye dinámicamente la carga de trabajo computacional entre tantos procesadores o núcleos como estén disponibles. De esta manera, el modelo optimiza sus cálculos para la arquitectura particular de cada computadora.

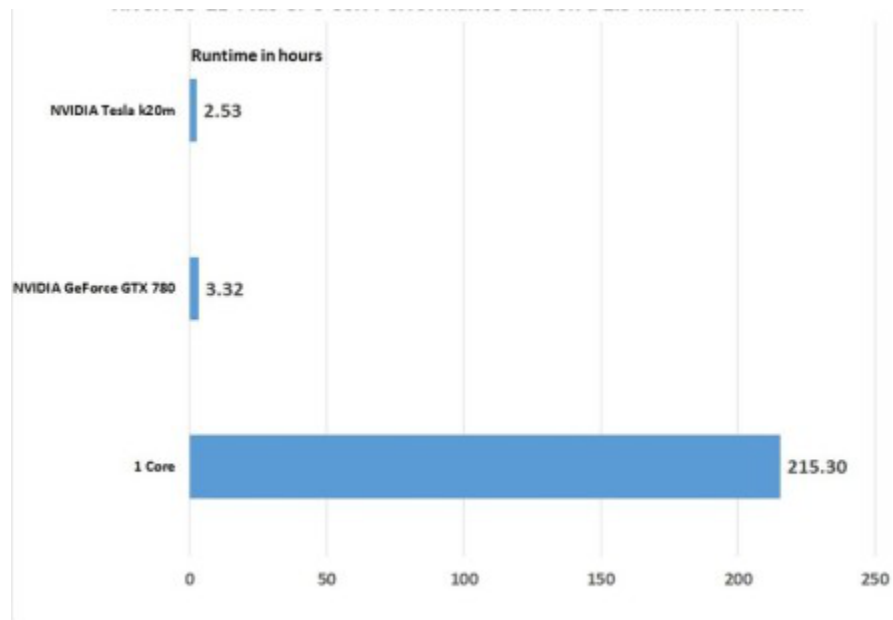
La figura muestra la aceleración del modelo con respecto al número de procesadores/núcleos en una computadora DELL Precision 7400 con 2 Intel Xeon CPU X5472 @3.00GHz y 16GB de RAM. Con 8 núcleos, el modelo se ejecuta más de 4 veces más rápido que el modelo no paralelizado. Una simulación de una hora tarda aproximadamente 6 minutos utilizando el modelo paralelizado en esta plataforma informática concreta.



**Figura 12.1** – Aceleración usando el código paralelizado de RiverFlow2D en función del número de núcleos del procesador.

## 12.2 GPU de RiverFlow2D

La versión GPU del modelo RiverFlow2D ofrece aceleraciones sorprendentes que reducen considerablemente los tiempos de ejecución. RiverFlow2D GPU implementa dos estrategias: paralelización OpenMP y técnicas de GPU. Puesto que al tratar flujos transitorios de inundación el número de llamadas wet cambia durante la simulación, se ha incluido en la implementación de Open MP una asignación dinámica de tareas a los procesadores que garantiza una carga de trabajo equilibrada. 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 mojado/secado implica un paso de corrección que no es completamente local, lo que requiere un tratamiento especial para evitar degradar el rendimiento del modelo. La versión GPU reduce el tiempo computacional por factores de hasta 700X en comparación con ejecuciones de CPU (1-core) no paralelizadas. La figura muestra pruebas de rendimiento utilizando tecnología reciente de hardware GPU, que demuestran que las técnicas de paralelización implementadas en RiverFlow2D GPU pueden reducir significativamente el coste computacional.



**Figura 12.2** – Aceleración usando el código paralelizado de RiverFlow2D en función del número de núcleos del procesador.

# 13

## Componentes hidráulicos e hidrológicos

Los componentes de RiverFlow2D son condiciones de contorno internas que pueden utilizarse para complementar cálculos que no pueden tratarse directamente mediante las ecuaciones de flujo 2D. Los componentes pueden especificarse sobre polígonos, polilíneas o puntos, según los datos requeridos. Los siguientes componentes se establecen sobre polígonos:

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

Los siguientes componentes hidráulicos se establecen sobre polilíneas (arcos de entidades):

- **Puentes:** tienen en cuenta puentes de geometría general, incluidos el flujo a presión y el desbordamiento.
- **Rotura de presa:** tiene en cuenta presas o diques internos que pueden romperse.
- **Tablas de aforo internas:** proporcionan una relación interna entre la elevación del agua y el caudal.
- **Compuertas:** se utilizan para representar estructuras de compuertas.
- **Vertederos:** representan estructuras con coronación, como vertederos, diques, muros acústicos, etc., donde existe una relación única entre el caudal y la profundidad.

Los componentes hidráulicos que se introducen en puntos son:

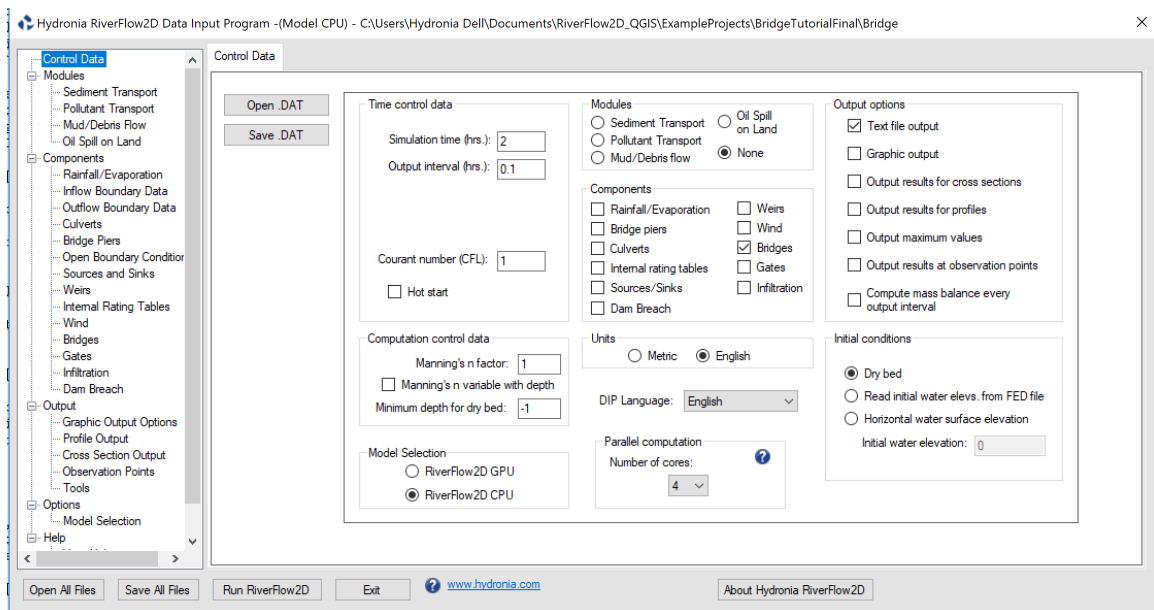
- **Pilas de puente:** tienen en cuenta las fuerzas de arrastre de las pilas mediante una formulación simplificada.
- **Alcantarillas:** conductos de transporte unidimensionales donde el caudal puede calcularse mediante ecuaciones para estructuras circulares o tipo cajón, y tablas de aforo.
- **Fuentes y sumideros:** proporcionan un medio para introducir entradas o salidas puntuales que pueden variar con el tiempo.

## 13.1 Componente Bridges

RiverFlow2D proporciona varias opciones para integrar la hidráulica de puentes en los cálculos de la malla 2D. La opción más común consiste en crear la geometría en planta de las pilas, generando una malla de celdas triangulares 2D que representa cada pila como un obstáculo sólido. En ese caso, el modelo calculará el flujo alrededor de la pila y tendrá en cuenta el arrastre de la pila. Este sería el enfoque preferido cuando el usuario necesita conocer el flujo detallado alrededor de las pilas, pero no tiene en cuenta las condiciones de flujo a presión o de desbordamiento. Con esta opción, la malla resultante alrededor de las pilas suele tener celdas muy pequeñas, lo que puede provocar un aumento de los tiempos de cálculo.

El componente *Bridges* es una herramienta integral de cálculo de la hidráulica de puentes que no requiere capturar en detalle la geometría en planta de las pilas del puente, lo que permite utilizar pasos de tiempo más largos y calcular la hidráulica del puente teniendo en cuenta una alineación en planta arbitraria, una geometría compleja del puente, flujo en superficie libre, flujo a presión, desbordamiento, flujo a presión y desbordamiento combinados, y sumersión, todo ello en 2D.

Este componente requiere definir la alineación del puente en planta y la sección transversal de la geometría del puente. La alineación del puente se proporciona en el archivo de datos que genera el modelo de RiverFlow2D a partir de los datos definidos por el usuario en DIP. Para ejecutar una simulación con el componente Bridges, debe seleccionar la opción en el panel *Control Data*, como se muestra en la figura siguiente.



**Figura 13.1** – Panel *Control Data* de DIP con el componente Bridges seleccionado.

Los datos en planta del puente se introducen en la capa *Bridges* de RiverFlow2D. Para crear un puente, consulte el tutorial *Simulating bridges* del documento *Tutorials*.

### Nota

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

### 13.1.1 Archivo de datos de geometría del puente

El archivo de sección transversal de la geometría del puente es necesario para definir la sección transversal del puente. Se define mediante cuatro polilíneas y se especifica en cinco columnas, como se indica a continuación: Línea 1: Número de puntos que definen las polilíneas.

- **NP**

NP líneas con estas entradas:

La relación entre las cuatro polilíneas debe ser la siguiente:

- Para todas las estaciones,  $STATION(I) \leq STATION(I+1)$
- $BEDELEV \leq ZLOWER \leq LOWCHORD \leq DECKELEV$
- En una línea determinada, todas las elevaciones corresponden a la misma estación.
- El espacio entre BEDELEV y ZLOWER está bloqueado al flujo.
- El espacio entre ZLOWER y LOWCHORD está abierto al flujo.
- El espacio entre LOWCHORD y DECKELEV está bloqueado al flujo.

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

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



| NP  | 23 | Station                                                                           | BedElev                                                                           | ZLower                                                                             | LowChord                                                                            | DeckElev                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                      |    |  |  |  |  |  |
|                                                                                      |    | 0.00                                                                              | 142.00                                                                            | 142.00                                                                             | 142.00                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 96.68                                                                             | 125.72                                                                            | 125.72                                                                             | 125.85                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 193.37                                                                            | 123.03                                                                            | 123.03                                                                             | 123.32                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 290.05                                                                            | 119.86                                                                            | 119.86                                                                             | 120.79                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 386.74                                                                            | 110.37                                                                            | 110.37                                                                             | 120.79                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 483.42                                                                            | 109.00                                                                            | 109.00                                                                             | 120.79                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 580.10                                                                            | 107.58                                                                            | 107.58                                                                             | 120.79                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 676.79                                                                            | 106.35                                                                            | 106.35                                                                             | 120.79                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 750.00                                                                            | 106.30                                                                            | 106.30                                                                             | 120.79                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 750.00                                                                            | 106.30                                                                            | 106.30                                                                             | 106.44                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 780.00                                                                            | 106.30                                                                            | 106.30                                                                             | 106.55                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 780.00                                                                            | 106.30                                                                            | 106.30                                                                             | 120.79                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 870.16                                                                            | 105.18                                                                            | 105.18                                                                             | 120.79                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 966.84                                                                            | 106.77                                                                            | 106.77                                                                             | 120.79                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 1063.52                                                                           | 107.30                                                                            | 107.30                                                                             | 120.79                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 1160.21                                                                           | 116.47                                                                            | 116.47                                                                             | 120.79                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 1256.89                                                                           | 116.02                                                                            | 116.02                                                                             | 120.79                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 1353.58                                                                           | 116.09                                                                            | 116.09                                                                             | 120.79                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 1450.26                                                                           | 119.61                                                                            | 119.61                                                                             | 120.79                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 1546.94                                                                           | 121.24                                                                            | 120.92                                                                             | 120.79                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 1643.63                                                                           | 124.74                                                                            | 124.74                                                                             | 124.67                                                                              | 142.00                                                                              |
|                                                                                      |    | 1644.00                                                                           | 142.00                                                                            | 142.00                                                                             | 142.00                                                                              | 142.00                                                                              |



**Figura 13.2** – Vista frontal de una sección transversal de puente.

- **BEDELEV:** R; -; m o ft; Elevación del lecho. Debe ser la elevación más baja para todas las polilíneas en un punto determinado.
- **DECKELEV:** R; -; m o ft; Elevación del tablero del puente. Debe ser la elevación más alta para todas las polilíneas en un punto determinado.
- **LOWCHORD:** R; -; m o ft; Elevación del tablero inferior del puente. LOWCHORD debe ser mayor o igual que ZLOWER y menor o igual que DECKELEV para un punto determinado. El espacio entre LOWCHORD y DECKELEV es un área bloqueada al flujo.
- **NP:** I; -; > 1; Número de puntos que definen las polilíneas de la sección transversal.
- **STATION:** R; -; m o ft; Distancia desde el punto más a la izquierda que define la polilínea de la sección transversal. Todos los puntos de las polilíneas deben tener una estación común.
- **ZLOWER:** R; -; m o ft; Elevación de la polilínea inferior. ZLOWER debe ser mayor o igual que BEDELEV y menor o igual que LOWCHORD para un punto determinado. El espacio entre BEDELEV y ZLOWER es un área bloqueada al flujo. El espacio entre ZLOWER y LOWCHORD está abierto al flujo. Si el puente no tiene huecos, ZLOWER debe ser idéntico a BEDELEV.

### 13.1.2 Cálculos de puentes

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

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

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 del nivel inferior  $z$ . El término  $\mathbf{S}_f$

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

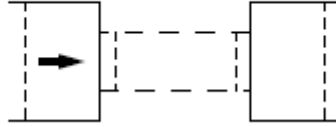
implica los esfuerzos cortantes del lecho  $\tau_{f,x}, \tau_{f,y}$  en las direcciones  $x$  e  $y$ , respectivamente, siendo  $\rho$  la densidad del fluido. El último término,  $\mathbf{S}_b$ , representa las pérdidas de energía locales debidas

a otros procesos

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

y se utiliza para representar puentes.

La descripción de las pérdidas de energía para el término de fricción asociado al esfuerzo del lecho en la ecuación se formula comúnmente como una extensión de una formulación 1D. En RiverFlow2D se aplica el mismo enfoque, derivando relaciones de cierre 1D para la definición del término fuente del puente. Tenga en cuenta que, aunque los términos  $S_{b,x}$  y  $S_{b,y}$  representan pérdidas de energía en presencia de puentes, en realidad actúan como un sumidero de momento. A continuación se describen modelos empíricos para la pérdida de energía causada por el puente.



**Figura 13.3** – Vista superior de un puente que muestra las secciones transversales de interés. Solo se representan dos pilas para simplificar.

### 13.1.2.1 Disipación de energía en puentes

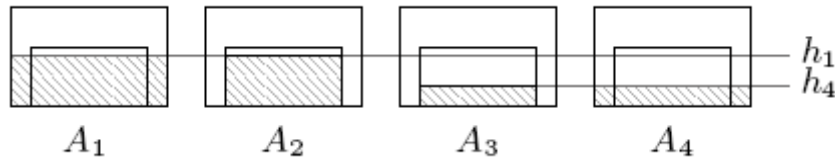
La formulación de Borda-Carnot para la pérdida de energía en contracciones o expansiones repentinas en tuberías también puede utilizarse para canales. A su vez, esto permite modelar puentes con superficie de agua libre. La pérdida de energía se expresará en términos de la carga total disponible  $\Delta H_{BC}$  y representa la energía mecánica total del flujo. En un marco 1D, la pérdida de carga  $\Delta H_{BC}$  se expresa de la siguiente manera

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

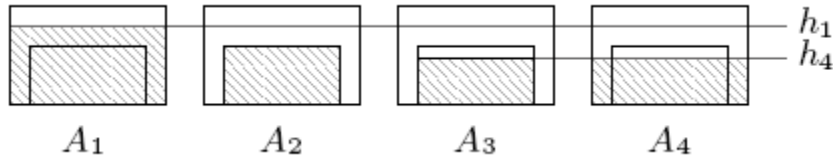
donde  $\Delta H_c$  y  $\Delta H_e$  son, respectivamente, las pérdidas por contracción y expansión

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

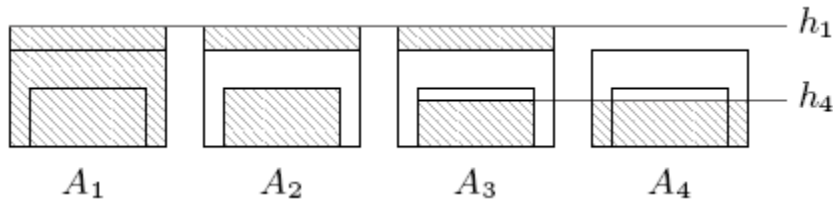
donde  $m$  es un valor típico para el coeficiente de contracción,  $m = 0.62$ , y las áreas  $A_1$  a  $A_4$  se refieren al área efectiva de flujo de la sección transversal. La numeración de las áreas se muestra en las figuras siguientes. El área 1 es una sección aguas arriba del puente, mientras que el área 4 es una sección aguas abajo. Las áreas 2 y 3 son secciones dentro del puente, cerca de la entrada y la salida, respectivamente.



**Figura 13.4** – Ejemplo sencillo de  $A_1, A_2, A_3$  y  $A_4$  utilizados para calcular la pérdida de carga en puentes con superficie libre.



**Figura 13.5** – Ejemplo sencillo de  $A_1, A_2, A_3$  y  $A_4$  utilizados para calcular la pérdida de carga en un puente parcialmente sumergido.



**Figura 13.6** – Ejemplo sencillo de  $A_1, A_2, A_3$  y  $A_4$  utilizados para calcular la pérdida de carga en puentes completamente sumergidos.

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

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

donde  $Q_1$  y  $Q_4$  son los caudales totales en las áreas  $A_1$  y  $A_4$ , expresados en función de la elevación de la superficie del agua,  $d = h + z$ . Pueden describirse diferentes regímenes. La primera figura anterior muestra un esquema de las áreas consideradas en el caso de superficie libre, la segunda figura anterior muestra las áreas equivalentes para puentes parcialmente sumergidos y la tercera figura anterior muestra las correspondientes a puentes completamente sumergidos.

### 13.1.2.2 Integración de las pérdidas de energía generadas por puentes

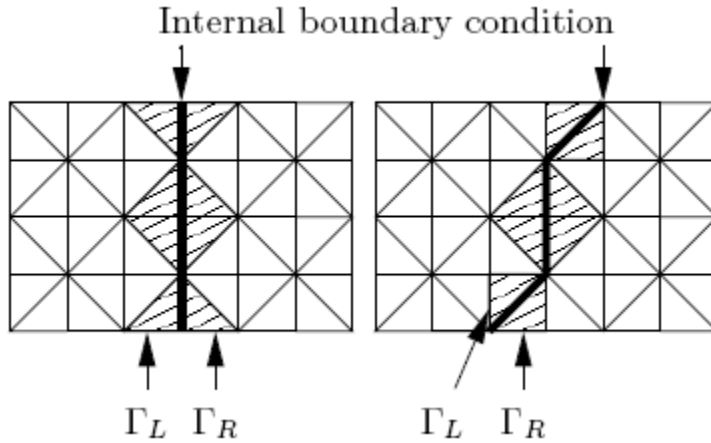
La formulación unificada de los términos fuente que tienen en cuenta las pérdidas de energía generadas por los puentes también garantiza la propiedad de balance bien equilibrado en casos estacionarios con velocidad. Para ello, es necesario definir  $\mathbf{S}_{nb}$  en el borde del RP donde existe el puente. El término fuente  $\mathbf{S}_{nb}$  se formula como

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

con

$$\delta H = \Delta H \frac{\tilde{\mathbf{u}} \cdot \mathbf{n}}{|\tilde{\mathbf{u}} \cdot \mathbf{n}|}$$

donde  $\Delta H$  es el término de pérdida singular utilizado para representar los puentes. El cálculo de  $\Delta H$  en una malla real se realiza de la siguiente manera. El puente se define en los bordes de las celdas (línea en negrita), y se considera que las celdas a ambos lados de estos bordes forman dos secciones transversales  $\Gamma_L$  y  $\Gamma_R$  (celdas rayadas). Tenga en cuenta que es posible definir puentes con orientaciones arbitrarias y en mallas estructuradas/no estructuradas.



En cada paso de tiempo, las variables necesarias para calcular la pérdida de carga global del puente se promedian a partir de las celdas de las secciones aguas arriba y aguas abajo, como se ilustra en la figura anterior. El caudal se calcula como

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

y el nivel medio de la superficie del agua de la sección transversal se estima como

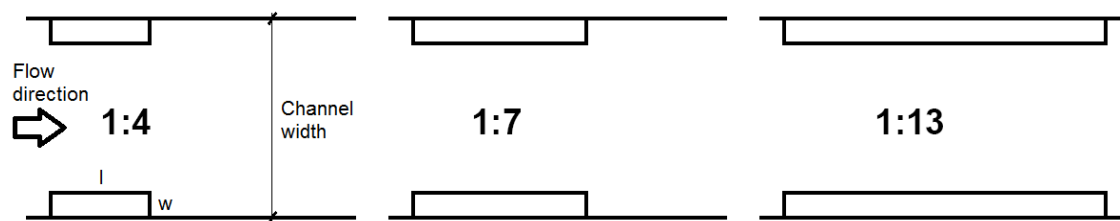
$$d_{\Gamma_L} = \frac{\sum_{k \in \Gamma_L} d_k l_k}{\sum_{k \in \Gamma_L} l_k} \quad d_{\Gamma_R} = \frac{\sum_{k \in \Gamma_R} d_k l_k}{\sum_{k \in \Gamma_R} l_k}$$

considerando las celdas con valores de  $h > 0$ . Los signos de  $Q_{\Gamma_L}$  y  $Q_{\Gamma_R}$  se utilizan para determinar qué sección está aguas arriba y cuál aguas 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 utilizando  $d_1 = d_{\Gamma_L}$  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 estableciendo  $d_1 = d_{\Gamma_R}$  y  $d_4 = d_{\Gamma_L}$ . A continuación, se calculan las diferentes áreas y el ancho superficial de la sección transversal en función del nivel medio de la superficie del agua. A partir de estos valores puede evaluarse la pérdida de carga total  $\Delta H$ .

### 13.1.2.3 Influencia del ancho del puente

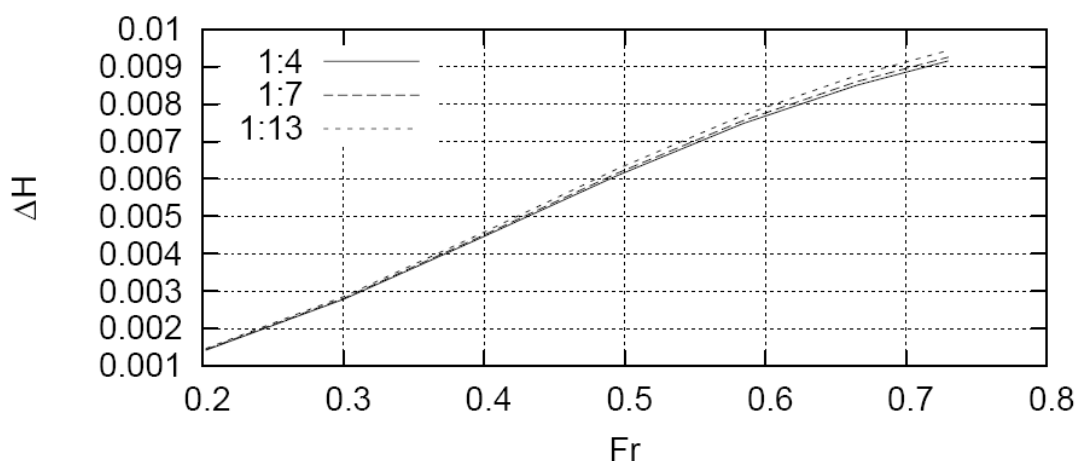
El algoritmo de cálculo utilizado en el componente Bridges no tiene en cuenta el efecto del ancho de la estructura (distancia perpendicular a la alineación del puente) sobre la pérdida de carga. Según y , el ancho del puente tiene una influencia pequeña sobre las variables del flujo, como la elevación de la superficie del agua y la pérdida de energía. Yarnell realizó experimentos en un canal de

laboratorio con puentes que tenían pilas rectangulares con relaciones ancho-longitud ( $w:l$ ) de 1:4, 1:7 y 1:13, donde  $w$  es la dimensión de la pila perpendicular a la dirección del flujo y  $l$  la longitud de la pila paralela al flujo. Yarnell observó que la pérdida de energía aumentaba menos del 10 % para la configuración con las pilas más largas. realizó simulaciones numéricas para confirmar los experimentos de Yarnell utilizando pilas con las mismas relaciones ancho-longitud y un amplio rango de caudales de aproximación.



**Figura 13.7** – Proporciones de las pilas del puente utilizadas para evaluar la influencia del ancho de la estructura.

Los resultados numéricos indican que los cambios en la pérdida de carga total a través de la estructura son muy similares para las tres configuraciones.

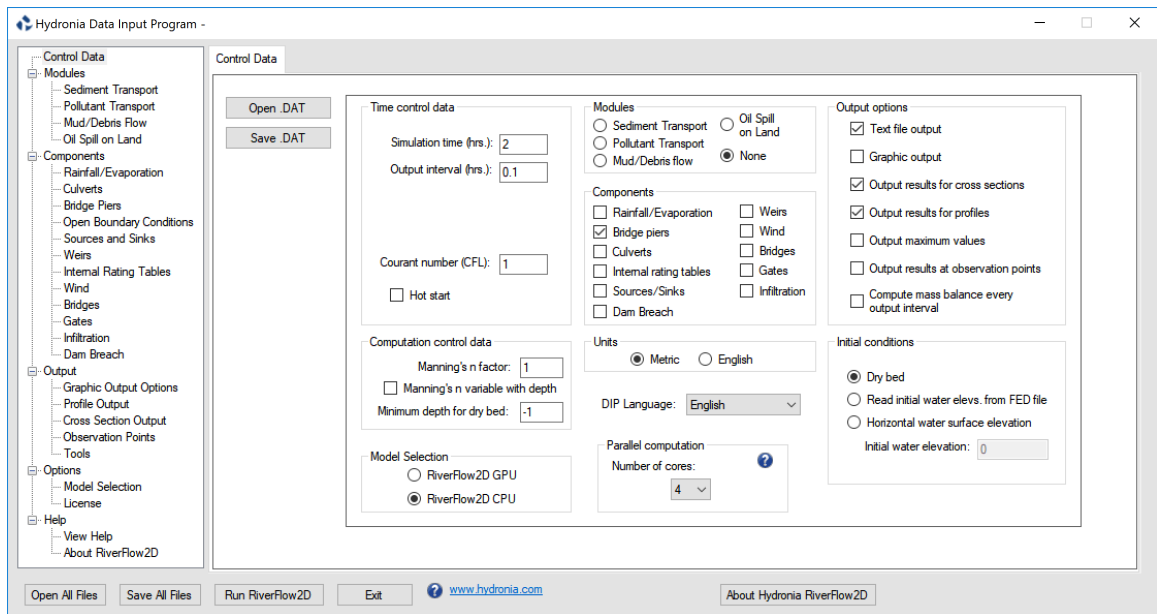


**Figura 13.8** – Influencia del ancho de la estructura sobre el cambio de carga total ( $\Delta H$ ) a través del puente en función del número de Froude aguas abajo.

## 13.2 Pilas de puente

El componente Bridge Piers permite tener en cuenta las pérdidas causadas por las pilas en el campo de flujo de forma simplificada, sin requerir una malla refinada alrededor de la geometría real en planta de la pila.

Para ejecutar una simulación con el componente *Bridge Piers*, debe seleccionar la opción en el panel *Control Data* de DIP, como se muestra en la figura siguiente.



**Figura 13.9** – Diálogo del *Control Panel* de DIP con el componente Bridge Piers seleccionado.

### Nota

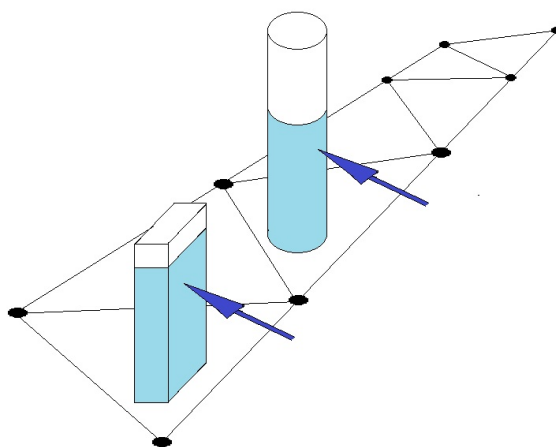
No hay límite en el número de pilas de puente que se pueden utilizar.

## 13.2.1 Cálculo de pilas de puente

El componente Bridge Pier puede utilizarse cuando el área en planta de la pila es pequeña en comparación con el área de la celda y no es necesario determinar los detalles del campo de flujo alrededor de la estructura. En este componente, el modelo calcula la fuerza de arrastre sobre cada pila en función del coeficiente de arrastre, la densidad del agua, la velocidad del flujo y el área proyectada mojada de la pila, como se muestra en la Ec. :

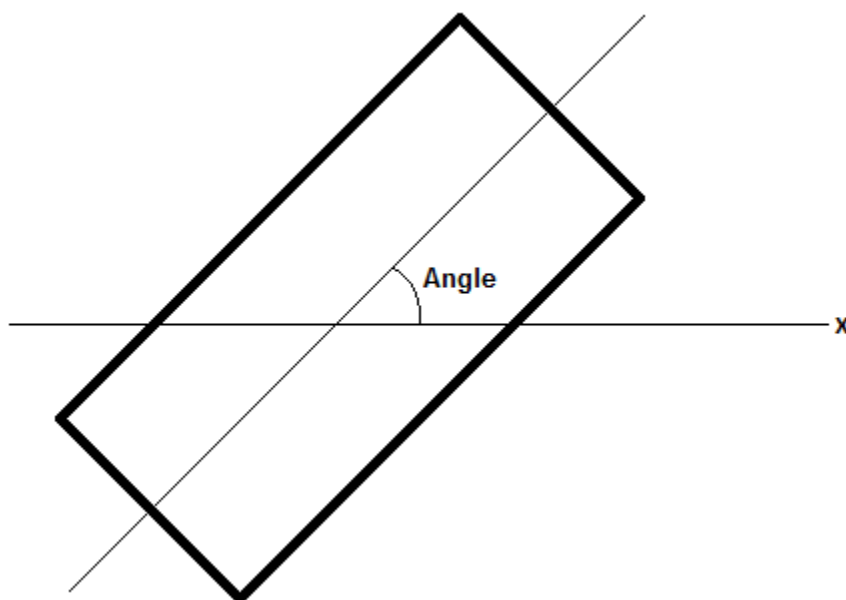
$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho U^2 A_P$$

Donde  $C_D$  es el coeficiente de arrastre de la pila,  $\rho$  es la densidad del agua,  $U$  es la velocidad del agua y  $A_P$  es el área mojada de la pila proyectada normalmente a la dirección del flujo. Se supone que las pilas están ubicadas en celdas que no necesariamente se ajustan a la geometría de la pila, como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 13.10** – Pilas dentro de las celdas.

Las pilas pueden ser circulares o rectangulares en planta. Las pilas rectangulares se ubican en las celdas según las coordenadas del centro de la pila y el ángulo entre el eje de la dimensión mayor y el eje X, como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 13.11** – Vista esquemática de una pila rectangular.

Para representar pilas circulares, introduzca el ancho y la longitud iguales al diámetro de la pila y el coeficiente de arrastre correspondiente.

La magnitud del vector de velocidad y el ángulo de aproximación suelen variar con el tiempo durante los cálculos de flujo no estacionario y se utilizan para calcular el área proyectada. Para tener en cuenta la fuerza de resistencia que la pila ejerce sobre el flujo, RiverFlow2D la convierte en el esfuerzo cortante distribuido en la celda donde se encuentra la coordenada del centroide de la pila. Las expresiones resultantes del esfuerzo cortante de la pila en las direcciones x e y son las siguientes:



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

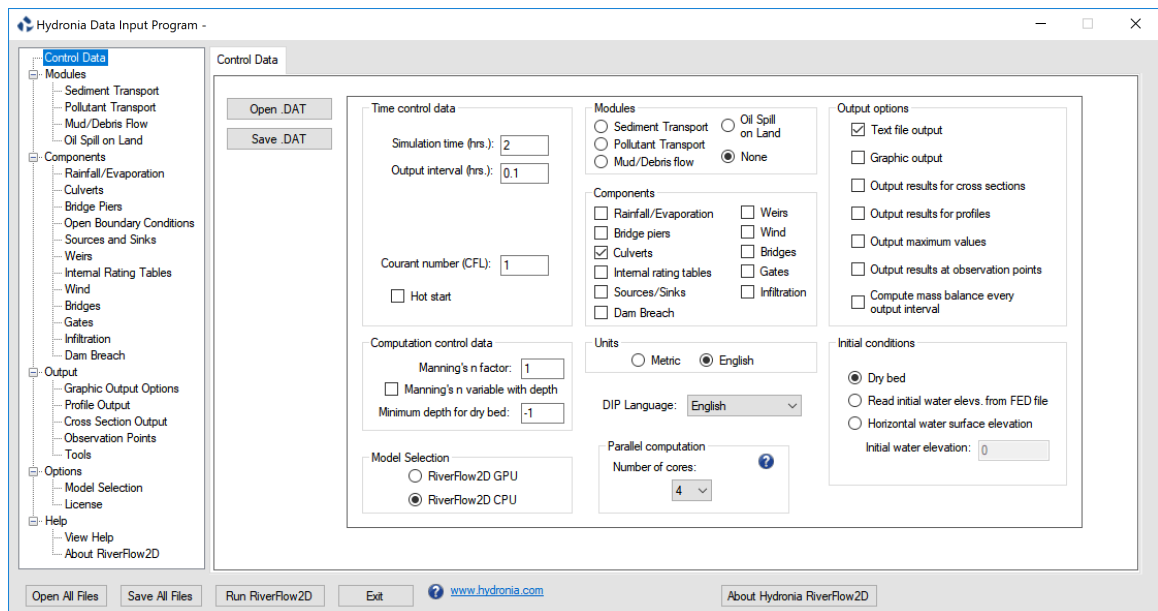
$$\tau_{py} = \frac{1}{2} C_D \rho V \sqrt{U^2 + V^2} \frac{A_P}{A_e}$$

donde  $A_e$  es el área de la celda.

### 13.3 Componente Culverts

El componente de alcantarillas de RiverFlow2D permite incorporar estructuras hidráulicas 1D que transportan agua entre dos ubicaciones de la malla, o entre un punto de la malla y otro situado fuera de ella.

Para ejecutar una simulación con el componente Culverts, debe seleccionar la opción en el panel *Control Data* del diálogo DIP, como se muestra en la figura siguiente.



**Figura 13.12** – Diálogo *Global Parameters* de DIP con el componente Culverts seleccionado.

En RiverFlow2D hay dos opciones para calcular el caudal de las alcantarillas. Cuando el usuario selecciona el cálculo mediante Rating Table y proporciona una tabla de aforo en el archivo asociado, el modelo determina el caudal mediante interpolación en función de la profundidad aguas arriba. Si el usuario introduce el cálculo Culvert utilizando las características de la alcantarilla, el modelo calculará el caudal basándose en las características geométricas de la alcantarilla proporcionadas en el archivo. Ambos procedimientos se describen con más detalle a continuación.

#### Nota

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

### 13.3.1 Cálculo de alcantarillas mediante una tabla de aforo (CulvertType = 0)

Cuando el usuario proporciona una tabla de aforo, el algoritmo de cálculo de la alcantarilla es el siguiente:

1. Si al menos uno de los extremos de la alcantarilla está mojado, determine la dirección del flujo basándose en las elevaciones de la superficie del agua en cada extremo de la alcantarilla.
2. Interpole el caudal a partir de la tabla de aforo utilizando la profundidad en la entrada de la alcantarilla.
3. Si la profundidad en la entrada de la alcantarilla es menor que el valor mínimo de la tabla de aforo, se supone que el caudal es cero.
4. Si la profundidad en la entrada es mayor que el valor máximo de la tabla de aforo, se supone que el caudal es igual al correspondiente a la profundidad máxima.
5. El caudal calculado se resta de la celda de entrada y se suma a la celda de salida, suponiendo una transmisión instantánea del volumen de agua.

### 13.3.2 Cálculo de alcantarillas mediante las características de la alcantarilla (CulvertType = 1,2)

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

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

donde  $N_b$  es el número de conductos idénticos,  $C_c$  es un coeficiente de descarga que depende del control del flujo y de las características geométricas de la alcantarilla,  $A_c$  es el área de la alcantarilla en sección completa,  $g$  es la aceleración gravitacional,  $H_c = WSEL_h - Z_{bi}$  para el control en la entrada y  $H_c = WSEL_h - WSE_{tw}$  para el control en la salida,  $WSEL_h$  es la elevación de la superficie del agua en la entrada de la alcantarilla,  $Z_{bi}$  es la elevación de la solera de entrada,  $WSE_{tw}$  es la elevación del agua aguas abajo (agua de cola). Para el cálculo del control en la entrada,

$$C_c = Min \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\frac{1 - \frac{D_c}{H_h} (Y + mS_0)}{2c'}} \\ \frac{1}{\sqrt{2K'(1/M)}} \left( \frac{H_h}{D_c} \right)^{\left( \frac{1}{M} - 0.5 \right)} \end{array} \right.$$

donde  $H_h = WSEL_h - Z_{bi}$  es la profundidad de carga aguas arriba.  $D_c$  es el diámetro de la alcantarilla para alcantarillas circulares y la dimensión de altura para alcantarillas tipo cajón,  $m = 0.7$  para entradas con inglete y  $m = -0.5$  para todas las demás entradas. Para el control en la salida, se utiliza la siguiente fórmula para determinar  $C_c$ :

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

donde  $R_c$  es el radio hidráulico de la alcantarilla,  $K_e$  es el coeficiente de pérdida en la entrada que puede obtenerse de la Tabla,  $n_c$  es el  $n$  de Manning obtenido de la Tabla,  $L_c$  es la longitud de la alcantarilla, y  $Y$ ,  $K'$ ,  $M$ ,  $c'$  son coeficientes de control en la entrada (véase la Tabla ).

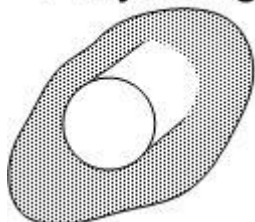
- **Hormigón:** Juntas buenas, paredes lisas; 0.012
- **Proyectada desde el terraplén, extremo con corte a escuadra:** 0.015
- **Juntas deficientes, paredes rugosas:** 0.017
- **Metal corrugado:** corrugaciones de 2-2/3 pulgadas  $\times$  1/2 pulgada; 0.025
- **Corrugaciones de 6 pulgadas  $\times$  1 pulgada:** 0.024
- **Corrugaciones de 5 pulgadas  $\times$  1 pulgada:** 0.026
- **Corrugaciones de 3 pulgadas  $\times$  1 pulgada:** 0.028
- **Corrugaciones de 9 inch  $\times$  2-1/2 inch:** 0.035
- **Tubería de concreto:** Proyectada desde el terraplén, extremo ranurado; 0.2
- **Proyectada desde el terraplén, extremo de corte recto:** 0.5 & Muro de cabecera o muro de cabecera con muros laterales (concreto o sacos de arena con cemento)
- **Extremo ranurado de la tubería:** 0.2
- **Extremo de corte recto de la tubería:** 0.5
- **Extremo redondeado de la tubería:** 0.1
- **Extremo en inglete que se adapta a la pendiente del terraplén:** 0.7 & Sección terminal fabricada de metal o concreto que se adapta a la pendiente del terraplén
- **Sin rejilla:** 0.5
- **Con rejilla:** 0.7
- **Tubería de metal corrugado o arco de tubería:** Proyectada desde el terraplén (sin muro de cabecera); 0.9
- **Muro de cabecera con o sin muros laterales (concreto o sacos de arena con cemento):** 0.5
- **Extremo en inglete que se adapta a la pendiente del terraplén:** 0.7 & Sección terminal fabricada de metal o concreto que se adapta a la pendiente del terraplén
- **Sin rejilla:** 0.5
- **Con rejilla:** 0.7
- **Caja de concreto reforzado:** Muro de cabecera paralelo al terraplén (sin muros laterales)
- **Con bordes rectos en tres lados:** 0.5

- **Redondeada en tres lados con un radio de 1/12 de la dimensión del conducto:** 0.2 & Muros laterales a 30° a 75° respecto al conducto &
- **Con borde recto en la corona:** 0.4
- **Borde de la corona redondeado con un radio de 1/12 de la dimensión del conducto:** 0.2 & Muros laterales a 10° a 30° respecto al conducto &
- **Con borde recto en la corona:** 0.5 & Muros laterales paralelos al terraplén
- **Con borde recto en la corona:** 0.7
- **Concreto:** Circular; Muro de cabecera; borde recto; 0.3153; 2.0000; 1.2804; 0.6700
- **Concreto:** Circular; Muro de cabecera; borde ranurado; 0.2509; 2.0000; 0.9394; 0.7400
- **Concreto:** Circular; Proyectada; borde ranurado; 0.1448; 2.0000; 1.0198; 0.6900
- **Metal corrugado:** Circular; Muro de cabecera; 0.2509; 2.0000; 1.2192; 0.6900
- **Metal corrugado:** Circular; En inglete según la pendiente; 0.2112; 1.3300; 1.4895; 0.7500
- **Metal corrugado:** Circular; Proyectada; 0.4593; 1.5000; 1.7790; 0.5400
- **Concreto:** Circular; Anillo biselado; biseles de 45°; 0.1379; 2.5000; 0.9651; 0.7400
- **Concreto:** Circular; Anillo biselado; biseles de 33.7°; 0.1379; 2.5000; 0.7817; 0.8300
- **Concreto:** Rectangular; Muros laterales; abocinamientos de 30° a 75°; borde recto; 0.1475; 1.0000; 1.2385; 0.8100
- **Concreto:** Rectangular; Muros laterales; abocinamientos de 90° y 15°; borde recto; 0.2242; 0.7500; 1.2868; 0.8000
- **Concreto:** Rectangular; Muros laterales; abocinamientos de 0°; borde recto; 0.2242; 0.7500; 1.3608; 0.8200
- **Concreto:** Rectangular; Muros laterales; abocinamiento de 45°; borde biselado; 1.6230; 0.6670; 0.9941; 0.8000
- **Concreto:** Rectangular; Muros laterales; abocinamiento de 18° a 33.7°; borde biselado; 1.5466; 0.6670; 0.8010; 0.8300
- **Concreto:** Rectangular; Muro de cabecera; chaflanes de 3/4 inch; 1.6389; 0.6670; 1.2064; 0.7900
- **Concreto:** Rectangular; Muro de cabecera; biseles de 45°; 1.5752; 0.6670; 1.0101; 0.8200
- **Concreto:** Rectangular; Muro de cabecera; biseles de 33.7°; 1.5466; 0.6670; 0.8107; 0.8650
- **Concreto:** Rectangular; Muro de cabecera; sesgo de 45°; chaflanes de 3/4 in; 1.6611; 0.6670; 1.2932; 0.7300

- **Concreto:** Rectangular; Muro de cabecera; sesgo de 30°; chaflanes de 3/4 in; 1.6961; 0.6670; 1.3672; 0.7050
- **Concreto:** Rectangular; Muro de cabecera; sesgo de 15°; chaflanes de 3/4 in; .7343; 0.6670; 1.4493; 0.6800
- **Concreto:** Rectangular; Muro de cabecera; sesgo de 10-45°; biseles de 45°; 1.5848; 0.6670; 1.0520; 0.7500
- **Concreto:** Rectangular; Muros laterales; abocinamientos no desplazados de 45°; ; 1.5816; 0.6670; 1.0906; 0.8030
- **Concreto:** Rectangular; Muros laterales; abocinamientos no desplazados de 18.4°; chaflanes de 3/4 in; 1.5689; 0.6670; 1.1613; 0.8060
- **Concreto:** Rectangular; Muros laterales; abocinamientos no desplazados de 18.4°; conducto sesgado 30°; 1.5752; 0.6670; 1.2418; 0.7100
- **Concreto:** Rectangular; Muros laterales; abocinamientos desplazados de 45°; borde superior biselado; 1.5816; 0.6670; 0.9715; 0.8350
- **Concreto:** Rectangular; Muros laterales; abocinamientos desplazados de 33.7°; borde superior biselado; 1.5752; 0.6670; 0.8107; 0.8810
- **Concreto:** Rectangular; Muros laterales; abocinamientos desplazados de 18.4°; bisel del borde superior; 1.5689; 0.6670; 0.7303; 0.8870
- **Metal corrugado:** Rectangular; Muro de cabecera; 0.2670; 2.0000; 1.2192; 0.6900
- **Metal corrugado:** Rectangular; Proyectada; pared gruesa; 0.3023; 1.7500; 1.3479; 0.6400
- **Metal corrugado:** Rectangular; Proyectada; pared delgada; 0.4593; 1.5000; 1.5956; 0.5700
- **Corrugaciones de 6 pulgadas × 2 pulgadas:** 0.034
- **Hormigón:** Circular; garganta ahusada; 1.3991; 0.5550; 0.6305; 0.8900
- **Metal corrugado:** Circular; garganta ahusada; 1.5760; 0.6400; 0.9297; 0.9000
- **Hormigón:** Rectangular; garganta ahusada; 1.5116; 0.6670; 0.5758; 0.9700
- **Hormigón:** Circular; muro de cabecera; borde cuadrado; 0.3153; 2.0000; 1.2804; 0.6700
- **Hormigón:** Circular; muro de cabecera; borde ranurado; 0.2509; 2.0000; 0.9394; 0.7400
- **Hormigón:** Circular; saliente; borde ranurado; 0.1448; 2.0000; 1.0198; 0.6900
- **Metal corrugado:** Circular; muro de cabecera; 0.2509; 2.0000; 1.2192; 0.6900
- **Metal corrugado:** Circular; cortada a inglete según la pendiente; 0.2112; 1.3300; 1.4895; 0.7500
- **Metal corrugado:** Circular; saliente; 0.4593; 1.5000; 1.7790; 0.5400
- **Hormigón:** Circular; anillo biselado; biseles de 45°; 0.1379; 2.5000; 0.9651; 0.7400

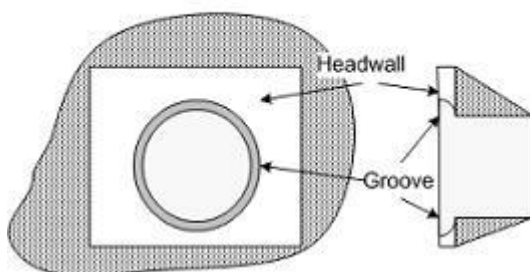
- **Hormigón:** Circular; anillo biselado; biseles de  $33.7^\circ$ ; 0.1379; 2.5000; 0.7817; 0.8300
- **Hormigón:** Rectangular; muros laterales; aberturas de  $30^\circ$  a  $75^\circ$ ; borde cuadrado; 0.1475; 1.0000; 1.2385; 0.8100
- **Hormigón:** Rectangular; muros laterales; aberturas de  $90^\circ$  y  $15^\circ$ ; borde cuadrado; 0.2242; 0.7500; 1.2868; 0.8000
- **Hormigón:** Rectangular; muros laterales; aberturas de  $0^\circ$ ; borde cuadrado; 0.2242; 0.7500; 1.3608; 0.8200
- **Hormigón:** Rectangular; muros laterales; abertura de  $45^\circ$ ; borde biselado; 1.6230; 0.6670; 0.9941; 0.8000
- **Hormigón:** Rectangular; muros laterales; abertura de  $18^\circ$  a  $33.7^\circ$ ; borde biselado 1.5466; 0.6670; 0.8010; 0.8300
- **Hormigón:** Rectangular; muro de cabecera; chaflanes de  $3/4$  de pulgada; 1.6389; 0.6670; 1.2064; 0.7900
- **Hormigón:** Rectangular; muro de cabecera; biseles de  $45^\circ$ ; 1.5752; 0.6670; 1.0101; 0.8200

### Projecting



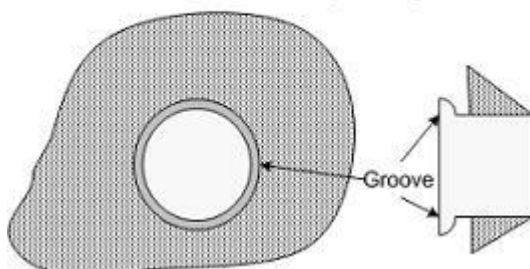
- : El extremo del conducto del alcantarillado sobresale del terraplén.

### Grooved Pipe with Headwalls



- : La tubería ranurada para alcantarillados de hormigón reduce las pérdidas de energía a través de la entrada del alcantarillado.

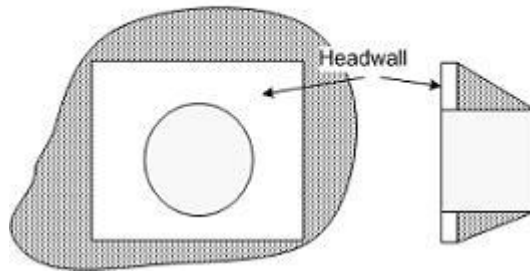
### Grooved Pipe Projecting



- : Esta opción es para alcantarillados de tubería

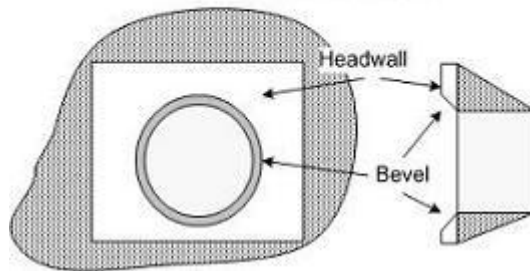
de hormigón.

### Square Edge with Headwalls



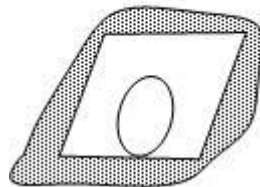
- : El borde cuadrado con muro de cabecera es una condición de entrada en la que la entrada del alcantarillado está al ras del muro de cabecera.

### Beveled Edge with Headwalls



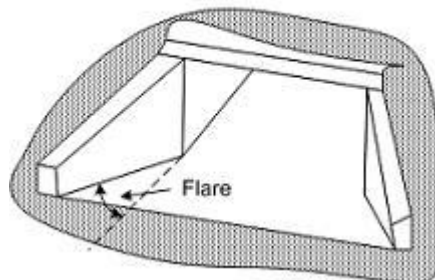
- : «Bordes biselados» es un borde de entrada ahusado que reduce la pérdida de carga cuando el flujo entra en el conducto del alcantarillado.

### Mitered



- : La entrada cortada a inglete ocurre cuando el conducto del alcantarillado se corta para quedar al ras de la pendiente del terraplén.

### Wingwalls



- : Los muros laterales se utilizan cuando el alcantarillado es más corto que el terraplén y evitan que el material del terraplén caiga dentro del alcantarillado.

El algoritmo de cálculo del alcantarillado funciona de la siguiente manera:

1. Si al menos uno de los extremos del alcantarillado está mojado, determine la dirección del flujo según las elevaciones de la superficie del agua en cada extremo del alcantarillado.
2. Calcule el caudal del alcantarillado mediante las fórmulas de control de entrada.
3. Calcule el caudal del alcantarillado mediante las fórmulas de control de salida.
4. Seleccione el caudal mínimo entre los caudales de control de entrada y de salida.
5. Si la profundidad en la entrada del alcantarillado es inferior al valor mínimo de la tabla de valoración, se supone que el caudal es cero.
6. El caudal calculado se resta de la celda de entrada y se suma a la celda de salida, suponiendo una transmisión instantánea del volumen de agua.

**Nota**

Al utilizar CulvertType 1 o 2, ambos extremos del alcantarillado deben estar dentro de la malla.

### 13.3.3 Supuestos de los cálculos del alcantarillado

1. Se utilizará la misma tabla de valoración para interpolar el caudal independientemente de la dirección del flujo. En otras palabras, si el flujo va de la celda A a la celda B en algún momento de la simulación, se utilizará la profundidad en A para interpolar el caudal de A a B, pero si en otro momento el flujo cambia de B a A, el caudal se interpolará utilizando la profundidad en B.
2. No existe control de salida en el cálculo del caudal de la tabla de valoración.
3. Al utilizar CulvertTypes 1 y 2, ambos extremos del alcantarillado deben estar dentro de la malla. No está permitido extraer flujo del dominio de modelado al utilizar estas opciones.
4. El cálculo del caudal con CulvertTypes 1 y 2 solo está disponible para alcantarillados de sección transversal circular o de cajón (rectangular).
5. La entrada a un alcantarillado se considera sumergida cuando la profundidad de agua de carga,  $H$ ,  $1.2D$ , donde  $D$  es el diámetro del alcantarillado circular o la altura de los alcantarillados de cajón.

### 13.3.4 Herramienta de intercambio de volumen entre múltiples celdas de alcantarillado en QGIS

El propósito de esta opción es aumentar el número de celdas computacionales involucradas en el intercambio de volumen entre la entrada y la salida. Ampliar la selección de celdas normalmente produce un proceso de transferencia de volumen más suave y estable, reduciendo eficazmente las oscilaciones mientras mantiene un cálculo preciso de los caudales de intercambio.

Con esta opción, la elevación del agua en la entrada se calcula como el promedio de todas las celdas mojadas contenidas dentro del polígono definido. Si el volumen de intercambio para un paso de tiempo determinado supera el volumen disponible en la celda de entrada, el volumen adicional se extrae de las celdas circundantes dentro del polígono. El impacto principal del nuevo método de múltiples celdas es la prevención del secado de la celda de entrada. Esto reduce significativamente las oscilaciones que se producían habitualmente cuando solo se utilizaba una celda de entrada.

Esta sección describe la herramienta utilizada para generar y editar polígonos para tipos de al-



cantarillado que dependen de múltiples celdas para el intercambio de volumen. La herramienta automatiza la creación de polígonos de entrada y salida, y proporciona funciones para ajustar su orientación y tamaño.

### 13.3.4.1 Descripción general

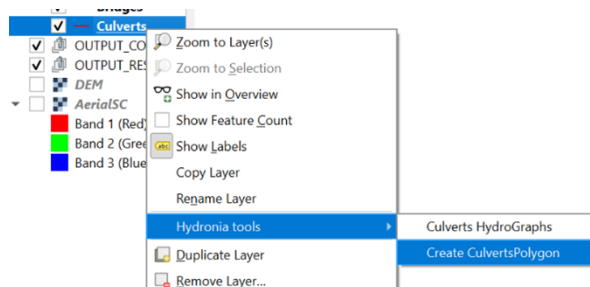
Para las alcantarillas con BCType = 11, 12, 14 y 15, el marco de modelado requiere definir polígonos de entrada y salida para especificar las celdas de la cuadrícula involucradas en el proceso de intercambio de volumen. Para facilitar esto, el software incluye una herramienta específica que genera una capa denominada CulvertsPolygon, que contiene polígonos trapezoidales predefinidos ubicados en la entrada y la salida de cada alcantarilla.

Antes de utilizar esta herramienta, asegúrese de que la capa Culverts se haya añadido al proyecto y de que todas las alineaciones de las alcantarillas se hayan dibujado correctamente.

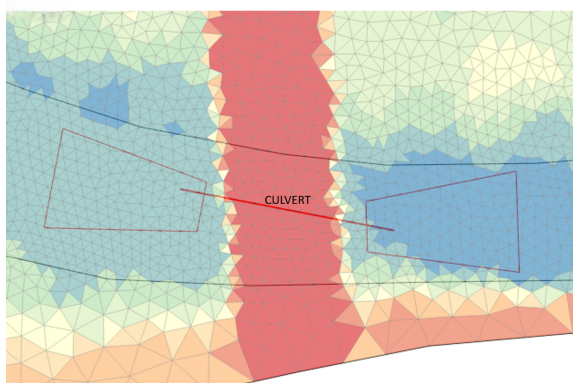
### 13.3.4.2 Creación de la capa CulvertsPolygon

Siga los pasos siguientes para crear la capa CulvertsPolygon:

1. En el panel Layers, haga clic derecho en la capa Culverts.
2. Seleccione Hydronia Tools en el menú contextual.
3. Haga clic en Create CulvertPolygon.



Al finalizar, se añadirá al proyecto una nueva capa denominada CulvertsPolygon. Esta capa contiene automáticamente un par de polígonos trapezoidales: uno en la entrada y otro en la salida de cada alcantarilla. Estos polígonos representan las áreas utilizadas para identificar las celdas vecinas.



**Figura 13.13** – Polígonos de entrada y salida de la alcantarilla.

### 13.3.4.3 Edición de la capa CulvertsPolygon

Es posible que los polígonos generados por la herramienta requieran ajustes para adaptarse mejor a la geometría de la alcantarilla o a la topografía local. Se dispone de las siguientes herramientas y procedimientos para editar los polígonos.

#### Ajuste de la orientación y la posición de los polígonos

Para modificar la alineación de los polígonos:

1. Active la barra de herramientas Advanced Digitizing.
2. Cambie la capa CulvertsPolygon al modo de edición.
3. Utilice las siguientes herramientas para realizar los ajustes necesarios.
  - Rotate Object: Gira el polígono alrededor de su centroide o de un punto de referencia seleccionado.
  - Move Object: Traslada el polígono a una nueva posición sin alterar su forma.
  - Para ajustar los vértices de los polígonos, active la herramienta de vértices 

Estas herramientas permiten alinear los polígonos con precisión con el eje de la alcantarilla.

#### Ajuste del tamaño de los polígonos

Para modificar las dimensiones de los polígonos:

1. Active la herramienta Node Tool.
2. Seleccione el polígono que desea editar.
3. Arrastre los nodos o vértices individuales para remodelar o cambiar el tamaño del polígono.

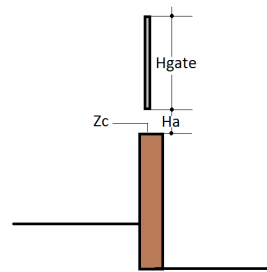
Ajustar el tamaño de los polígonos garantiza una cobertura adecuada de las celdas vecinas utilizadas para el intercambio de flujo.

### 13.3.4.4 Notas y recomendaciones

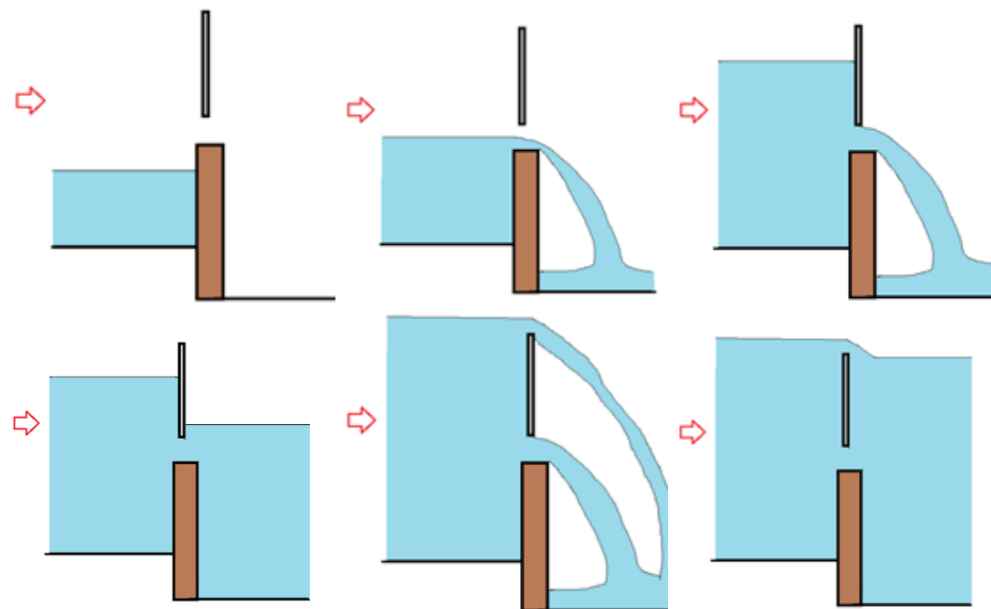
- Verifique siempre que los polígonos estén correctamente alineados con la alcantarilla y cubran completamente las celdas computacionales previstas.
- Después de editar, recuerde guardar las modificaciones de la capa antes de continuar con la configuración.
- Evite estirar o distorsionar excesivamente los polígonos, ya que esto puede afectar al comportamiento del modelo.

## 13.4 Componente Gates

Los componentes GATES permiten integrar compuertas dentro de la región de modelado. Cada compuerta debe definirse en términos de su alineación en planta, elevación de la cresta ( $Z_c$ ), altura de la compuerta ( $H_{gate}$ ) y la serie temporal de aperturas ( $H_a$ ), proporcionada como una tabla en un archivo asociado a cada estructura. Las figuras siguientes muestran los modos de flujo que pueden calcularse a través de las compuertas, incluidos la sumersión y el sobrevertido.

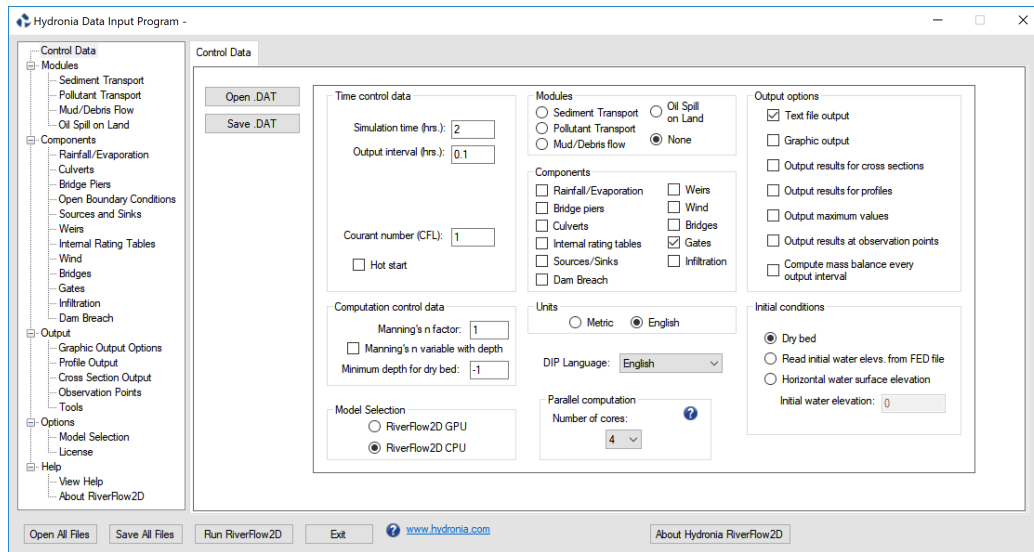


**Figura 13.14** – Vista esquemática en corte perpendicular a una estructura de compuerta.



**Figura 13.15** – Modos de flujo a través de compuertas.

Para ejecutar una simulación con el componente de compuertas, debe seleccionar la opción en el panel *Control Data* de DIP, como se muestra en la figura siguiente.



**Figura 13.16** – Panel *Control Data* de DIP con el componente *Gates* seleccionado.

Los datos del plan de compuertas se introducen en la capa *Gates* de QGIS.

Dado que la polilínea de la compuerta debe pasar por los nodos, es esencial que el motor de generación de malla cree nodos a lo largo de la polilínea. Esto se consigue fácilmente recreando la malla.

#### Nota

No existe límite para el número de compuertas que se pueden utilizar.

### 13.4.1 Cálculos de compuertas

La compuerta se simula suponiendo que el caudal por unidad de anchura  $q$  que atraviesa la compuerta está determinado por la diferencia entre el nivel de la superficie del agua ( $d = h + z$ ) a ambos lados de la compuerta, denominado  $d_l$  aguas arriba de la compuerta y  $d_r$  aguas abajo de la compuerta, y por la abertura permitida de la compuerta,  $G_o$ . Se contemplan varias situaciones. Cuando  $G_o = 0$ , la compuerta se comporta como un muro sólido y no atraviesa ningún flujo. Cuando la abertura de la compuerta es mayor que el nivel de la superficie del agua a ambos lados, deja de influir en el flujo. En cualquier otro caso, suponiendo que  $d_l < d_r$ , pueden ocurrir dos situaciones de flujo diferentes dependiendo de los valores relativos de  $G_o$ ,  $z_l$ ,  $z_r$ ,  $d_l$  y  $d_r$ . Cuando  $G_o + \max(z_l, z_r) < \min(d_l, d_r)$ , como se muestra en la primera figura siguiente, el caudal viene dado por

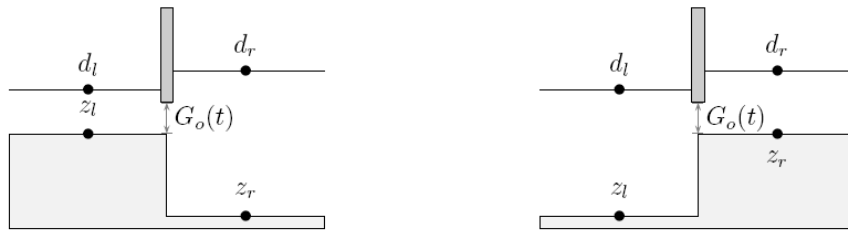
$$q = G_o K_1 (d_r - d_l)^{1/2}$$

donde  $K_1$  es un coeficiente de pérdida de energía. En RiverFlow2D  $K_1=3.33$ .

Cuando  $G_o + \max(z_l, z_r) > \min(d_l, d_r)$ , como se muestra en la segunda figura siguiente, el caudal viene dado por

$$q = C_d (2/3) \sqrt{2g} [d_r - \max(z_l, z_r)]^{1/2}$$

donde  $C_d$  es el coeficiente de caudal adimensional, que toma valores cercanos a 0.6.



**Figura 13.17** – Niveles de agua para el caudal bajo una compuerta en condiciones sumergidas, formulados como en (G1).



**Figura 13.18** – Niveles de agua para el caudal bajo una compuerta en condiciones sumergidas, formulados como en (G2).

## 13.5 Precipitación y evaporación

Esta sección y la siguiente, sobre la infiltración, describen los cálculos hidrológicos implementados en RiverFlow2D. El componente incluye capacidades para integrar la precipitación, la evaporación y la infiltración en las simulaciones del modelo. Puede utilizar estos componentes para realizar simulaciones hidrológicas con las siguientes opciones:

- Precipitación y evaporación y suelo impermeable (sin infiltración)
- Infiltración (sin precipitación)
- Precipitación, evaporación e infiltración.

Siga el Tutorial de Precipitación, Evaporación e Infiltración, que explica cómo configurar una simulación hidrológica de principio a fin.

La precipitación se trata como un término fuente simple. Representa un aporte adicional a la profundidad de agua de la celda en el paso anterior del cálculo del flujo. Puede configurar eventos locales de precipitación para varias regiones de la cuenca. Esto permite simular casos más realistas, en los que se dispone de datos de varios pluviómetros.

### Nota

En RiverFlow2D, la precipitación se impone antes de calcular la infiltración. Esto es importante porque la capacidad de infiltración depende en gran medida de la intensidad de la precipitación, como veremos en la siguiente sección.

## 13.6 Infiltración

- La infiltración representa otro componente del balance hidrológico y puede definirse como el proceso por el cual el agua superficial entra en el suelo. En RiverFlow2D, la infiltración se trata como una pérdida. Este proceso está gobernado principalmente por dos fuerzas: la gravedad y la acción capilar. El modelo proporciona tres métodos para calcular las pérdidas por infiltración: Horton, Green: Ampt y SCS-Curve Number (SCS-CN).

### Nota

Al utilizar el componente de infiltración sin precipitación, solo se pueden utilizar los métodos Horton o Green y Amp, ya que tienen en cuenta el agua superficial existente para determinar las tasas de infiltración, independientemente de que no haya precipitación. El método SCS-CN calcula la infiltración en función de la precipitación proporcionada y no considera el agua encharcada.

### 13.6.1 Modelo de infiltración de Horton

El modelo de infiltración de Horton propone una ecuación exponencial para modelar la capacidad de infiltración del suelo  $f_p$ :

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

donde  $f_0$  y  $f_c$  son las capacidades de infiltración inicial y final, ambas medidas en  $m/s$  o  $in/s$ , y  $k$  representa la tasa de disminución de la capacidad ( $1/s$ ).

Los parámetros  $f_0$  y  $k$  no tienen base física, por lo que deben determinarse a partir de datos experimentales. Una buena fuente de valores experimentales para estos parámetros en diferentes tipos de suelo puede encontrarse en y se resume en. La Tabla y la Tabla muestran los parámetros para algunos tipos generales de suelo, tal como se presenta en. Obsérvese que no se muestran valores de  $k$ . Se recomienda un valor de  $k = 4.14 \text{ hr}^{-1}$  en ausencia de datos de campo.

- **Suelos arenosos secos con poca o ninguna vegetación:** 127
- **Suelos francos secos con poca o ninguna vegetación:** 76.2
- **Suelos arcillosos secos con poca o ninguna 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 ninguna vegetación:** 43.18
- **Suelos francos húmedos con poca o ninguna vegetación:** 25.4
- **Suelos arcillosos húmedos con poca o ninguna 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
- **Franco arcilloso, franco arcilloso limoso:** 1.27
- **Franco arcilloso arenoso:** 1.3 - 3.8
- **Franco limoso, franco:** 3.8 - 7.6
- **Arena, arena franca, francos arenosos:** 7.6 - 11.4

La ecuación debe aplicarse después del encharcamiento superficial. En otras palabras, suponemos condiciones de suministro ilimitado de agua en la superficie. Bajo esta consideración, la infiltración acumulada hasta el tiempo  $t$  puede calcularse integrando la capacidad de infiltración:

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

Es importante destacar 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 supera la capacidad de infiltración del suelo o si la superficie se encharca, esta magnitud determinará la tasa de infiltración:

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

donde  $t_p$  representa el tiempo de encharcamiento.

Siguiendo, para los dos primeros intervalos de lluvia, la intensidad de lluvia es menor que la capacidad de infiltración, por lo que la tasa de infiltración real es igual a la tasa de lluvia. Debido a este hecho, la capacidad de infiltración real no disminuye como indica la ecuación de Horton. La razón, como se indicó anteriormente, es la suposición del modelo de Horton de que el suministro de agua siempre supera la capacidad de infiltración desde el principio. Por lo tanto, el suelo tiene mayor capacidad de infiltración y debemos calcular la infiltración real en  $t=20$  min, por lo que necesitamos determinar el tiempo de encharcamiento  $t_p$  resolviendo:

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

donde  $F$  representa la infiltración acumulada (es decir, igual al volumen de lluvia) hasta este tiempo de encharcamiento.

La ecuación anterior debe resolverse mediante un procedimiento iterativo, por ejemplo, el método de Newton-Raphson. Por lo tanto, la capacidad de infiltración es ahora una función del agua realmente infiltrada, no solo una función del tiempo. Finalmente, la capacidad de infiltración real en  $t=20$  min se calcula evaluando en  $t_p$ :

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt_p}$$

Cuando la intensidad de lluvia supera la capacidad de infiltración del suelo, la tasa de infiltración real es igual a esta capacidad y disminuye siguiendo la ecuación de Horton al sustituir  $f_c = f_p$  y

$t = t - t'$ , siendo  $t'$  el instante en el que la intensidad de lluvia supera la capacidad de infiltración del suelo:

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

Debe tenerse en cuenta una consideración adicional. Es posible que la capacidad de infiltración recalculada sea mayor que la intensidad de lluvia. Esto implica una situación no física con almacenamiento o escorrentía negativos. La razón de este comportamiento es que el suelo no puede infiltrar más que la tasa de lluvia, por lo que debe imponerse un límite a la capacidad de infiltración recalculada:

$$f_p \leq R$$

### 13.6.2 Modelo de infiltración de Green-Ampt

El modelo de infiltración de Green-Ampt es un modelo sencillo con una base teórica en la ley de Darcy, por lo que no es estrictamente empírico. Además, sus parámetros tienen significado físico y pueden calcularse a partir de las propiedades del suelo. Los parámetros de suelo más comunes se muestran en la Tabla , tal como se presenta en.

- **Arena:** 0.437(0.374-0.500); 4.95(0.97-25.36); 7.8
- **Arena franca:** 0.437(0.363-0.506); 6.13(1.35-27.94); 2.99
- **Franco arenoso:** 0.453(0.351-0.565); 11.01(2.67-45.47); 1.09
- **Franco:** 0.463(0.375-0.551); 8.89(1.33-59.38); 0.66
- **Franco limoso:** 0.501(0.420-0.582); 16.68(2.92-95.39); 0.34
- **Franco arcilloso arenoso:** 0.398(0.332-0.464); 21.85(4.42-108.0); 0.15
- **Franco arcilloso:** 0.464(0.409-0.519); 20.88(4.79-91.10); 0.10
- **Franco arcillo 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 parte del supuesto de que se mantiene sobre la superficie una profundidad de encharcamiento  $h$ . El método de Green-Ampt aproxima la capacidad de infiltración del suelo de la siguiente manera:

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

siendo  $K_s$  la conductividad hidráulica efectiva,  $S_f$  la carga de succión en el frente de humectación,  $\theta_i$  el contenido de agua uniforme inicial y  $\theta_s$  la porosidad. La integración proporciona la infiltración acumulada:

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

Resolver la infiltración acumulada  $F$  en la ecuación requiere un procedimiento iterativo (p. ej., iteraciones de Picard o el método de Newton-Raphson). La carga de succión efectiva puede reemplazarse por el valor medio  $\Psi$ .



Las ecuaciones y suponen que el suelo está encharcado desde el inicio. Deben tenerse en cuenta consideraciones adicionales para modelar un patrón de tormenta no estacionario. En cada paso temporal pueden ocurrir tres posibilidades: 1) el encharcamiento ocurre al 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 real  $f_p$  a partir del valor conocido de la infiltración acumulada  $F$  en el tiempo  $t$ . De :

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

El resultado de la ec. se compara con la intensidad de lluvia  $i$ . Si  $f_p \leq i$ , ocurre el caso 1 y la infiltración acumulada al final del intervalo viene dada por. Además, la tasa de infiltración real  $f$  será igual a la potencial  $f_p \leq i$ :

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

Si  $f_p > i$ , no hay encharcamiento al principio del intervalo. Suponemos que no hay encharcamiento durante todo el intervalo, por lo que la tasa de infiltración real es igual a la tasa de lluvia y puede calcularse un valor tentativo de la infiltración acumulada al final del periodo como:

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

A partir de las ecuaciones y puede calcularse una capacidad de infiltración tentativa  $f'_{p,t+\Delta t}$ . Si  $f'_{p,t+\Delta t} > i$ , no hay encharcamiento durante el intervalo, el supuesto es correcto y el problema corresponde a la situación número 2, por lo que  $F'_{t+\Delta t} = F_{t+\Delta t}$ . Si  $f'_{p,t+\Delta t} \leq i$ , existen condiciones de encharcamiento dentro del intervalo (caso 3).

La infiltración acumulada en el momento del encharcamiento  $F_p$  se obtiene tomando  $f_p = i$  y  $F = F_p$  en :

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

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

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

Finalmente, la infiltración acumulada puede obtenerse sustituyendo  $F = F_p$  y  $\Delta t = \Delta t - \Delta t'$  en la ecuación.

### 13.6.3 Modelo SCS-CN

El modelo de escorrentía del Soil Conservation Service-Curve Number (SCS-CN) fue desarrollado originalmente por el USDA Natural Resources Conservation Service para estimar la escorrentía de eventos de precipitación en cuencas agrícolas. Actualmente también se utiliza en hidrología urbana. El parámetro principal del método es el Curve Number (CN), que es esencialmente un coeficiente para reducir la precipitación total a escorrentía o potencial de agua superficial, teniendo en cuenta las pérdidas (evaporación, absorción, transpiración y almacenamiento superficial). En términos generales, cuanto mayor sea el valor de CN, mayor será el potencial de escorrentía. Definamos los conceptos de escorrentía o precipitación efectiva  $RO$ , volumen de lluvia  $RV$ , abstracción inicial de

agua que se infiltra antes de que comience la escorrentía  $I_a$  y retención máxima potencial  $S$ . Por tanto, la escorrentía potencial puede calcularse como  $RV - I_a$ . La hipótesis principal del método SCS-CN es suponer relaciones iguales entre las cantidades reales y las cantidades potenciales, como sigue:

$$\frac{F}{S} = \frac{RO}{RV - I_a}$$

Por otro lado, el balance de masa de agua en la cuenca nos lleva a:

$$RV = RO + F + I_a$$

Al combinar y teniendo en cuenta que la escorrentía no puede comenzar hasta que se haya satisfecho la abstracción inicial:

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

La retención máxima potencial  $S$  se estima (en  $mm$ ) mediante el Número de Curva:

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

Se supone que la abstracción inicial es proporcional a  $S$ :

$$I_a = \alpha S$$

donde tradicionalmente  $\alpha = 0.2$  para todas las cuencas hidrográficas (USDA, 1986), pero estudios recientes sugieren que existe un amplio rango de valores que funcionan mejor que este valor, dependiendo de las propiedades del suelo. Este parámetro se puede cambiar en RiverFlow2D, y su influencia en la escorrentía del agua se estudió en Caviedes et al..

Para determinar los Números de Curva apropiados, recomendamos seguir las directrices proporcionadas en.

Es importante señalar que el método SCS-CN no fue diseñado para considerar el tiempo. Siguiendo, cuando el método se implementa en un simulador complejo, se utiliza una metodología de avance temporal. El método no se aplica a toda la cuenca. La escorrentía se calcula para cada celda en cada paso de tiempo, utilizando la precipitación acumulada desde el inicio de la tormenta.

El método SCS-CN puede ampliarse para estimar la distribución temporal de las pérdidas de agua.

Al combinar de nuevo y resolviendo para  $F$ :

$$F = \frac{S(RV - I_a)}{RV - I_a + S}, \quad RV \geq I_a$$

Al diferenciar, teniendo en cuenta que  $I_a$  y  $S$  son magnitudes constantes, se obtiene la siguiente expresión para la tasa de infiltración:

$$f = \frac{dF}{dt} = \frac{S^2 R}{RV - I_a + S}$$

siendo  $R$  la tasa de precipitación, definida como sigue:

$$R = \frac{dRV}{dt}$$

### 13.6.3.1 Condiciones de humedad antecedente

En el método SCS-CN se puede considerar el Contenido de Humedad Antecedente (AMC), que representa la humedad relativa precedente del suelo antes del evento de tormenta y su influencia en la escurrentía. Este parámetro permite tener en cuenta la variación del CN para diferentes eventos de tormenta y la humedad inicial del suelo para un evento determinado. Se pueden considerar tres supuestos posibles: condiciones secas (AMC I), condiciones medias (AMC II) o condiciones húmedas (AMC III), como se resume en Table.

- **I:** Menos de 13 mm; Menos de 36 mm
- **II:** De 13 mm a 28 mm; De 36 mm a 53 mm
- **III:** Más de 28 mm; Más de 53 mm

Tradicionalmente , el Número de Curva para condiciones secas o húmedas se ha recalculado en términos de las condiciones estándar de acuerdo con las Ecuaciones. y :

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

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

Por otro lado, algunas referencias más recientes recomiendan utilizar una tabla de datos empíricos para calcular ambos valores.

## 13.7 Componente del viento

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

donde

$$S_{wx} = C_d \frac{\rho_a}{\rho_w} u|U| \quad S_{wy} = C_d \frac{\rho_a}{\rho_w} v|U|$$

siendo  $U = (u, v)$  el vector de velocidad del viento,  $\rho_a$  y  $\rho_w$  las densidades del aire y del agua, respectivamente, y  $C_d$  es el coeficiente de resistencia aerodinámica a una altura de 10 m sobre el nivel del agua. El modelo considera  $C_d$  constante, pero normalmente aumenta con la velocidad del viento. Garrat (1977) sugirió la siguiente fórmula para determinar  $C_d$

$$C_d = (0.75 + 0.067U) 10^{-3}$$

donde  $U$  se expresa en m/s.

Para velocidades del viento que varían de 1 a 25 m/s,  $C_d$  estaría aproximadamente entre 0.0008 y 0.0024. Powell, 2008, sugirió que el rango de  $C_d$  en aguas poco profundas es de 0.00095 a 0.00157, con valores que podrían alcanzar 0.0045 durante eventos de tormenta severa.

Tenga en cuenta que normalmente la velocidad del viento se obtiene en formato ángulo/magnitud  $(\phi, U)$ , y que la convención meteorológica proporciona la dirección desde la cual sopla el viento

en sentido horario. Según esta convención, un viento del norte tendría un ángulo de 0 grados, mientras que un viento del este tendría 90 grados, y así sucesivamente.

Para calcular las componentes del vector de velocidad del viento  $(u, v)$  a partir de  $(\phi, U)$ , puede aplicar estas fórmulas:

$$u = -U \sin(\phi)$$

$$v = -U \cos(\phi)$$

$$U = \sqrt{u^2 + v^2}$$

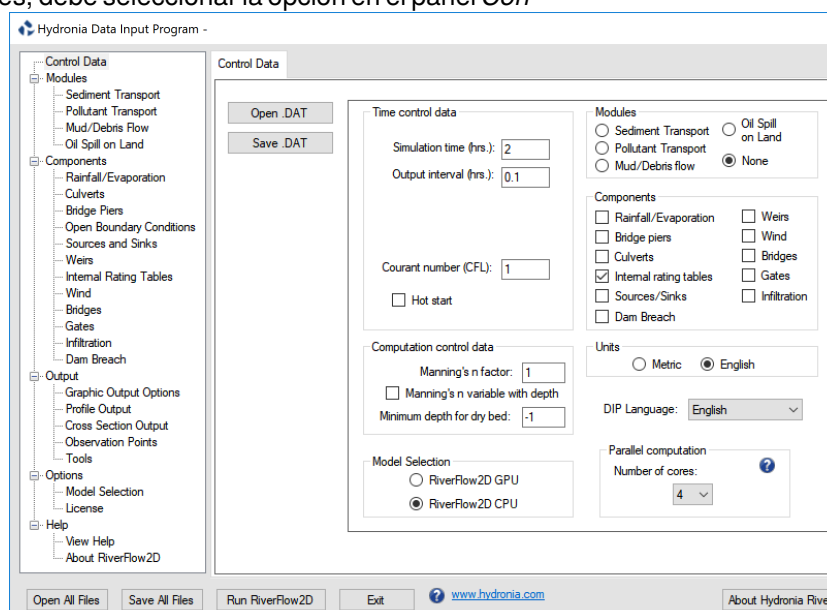
## 13.8 Tablas de clasificación internas

Internal Rating Tables es una condición interna a lo largo de una polilínea en la que el modelo impone la elevación interpolada del agua a partir del caudal calculado según una tabla de curvas de gasto proporcionada por el usuario.

### Nota

Si la tabla de curvas de gasto no es totalmente compatible con el flujo 2D calculado, los resultados pueden ser erróneos. Se recomienda utilizar esta condición con precaución para evitar inconsistencias.

Para ejecutar una simulación con Internal Rating Tables, debe seleccionar la opción en el panel *Con-*



rol Data de DIP que se muestra en la figura siguiente.

Los datos del plan Internal Rating Table se introducen en QGIS Internal Rating Table Layer.

**Nota**

No hay límite para el número de Internal Rating Tables que se pueden utilizar.

### 13.8.1 Cálculos de tablas de clasificación internas

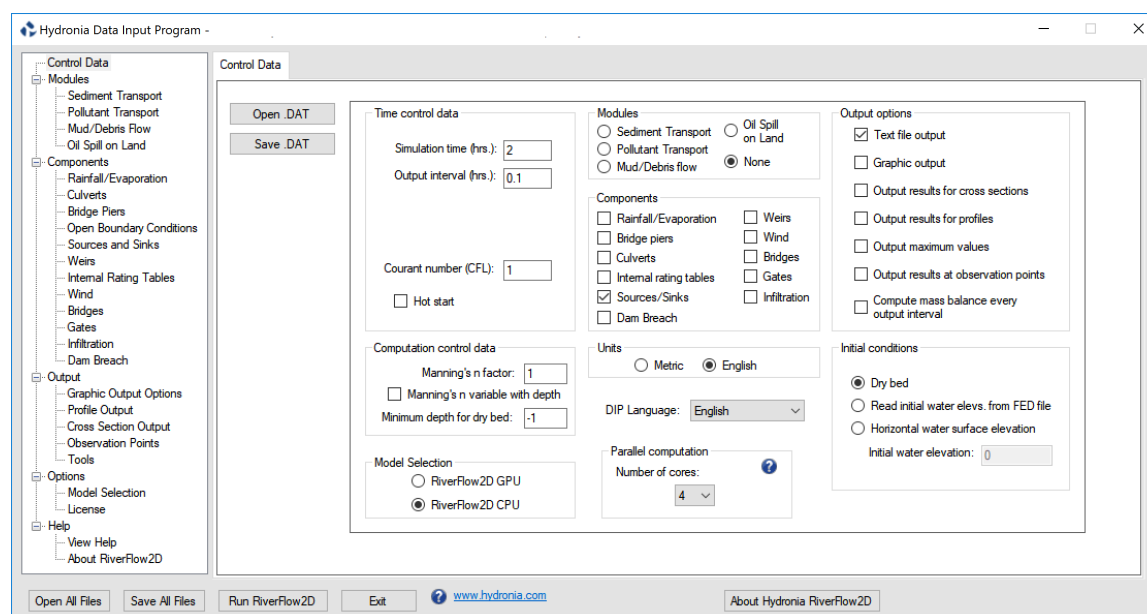
Una tabla de curvas de gasto interna se implementa como un conjunto de valores del caudal total en función del nivel de la superficie del agua  $Q = Q(h + z)$ . Esta tabla se define a lo largo de una polilínea en la malla. Primero, se calcula un nivel medio común de la superficie del agua considerando todas las celdas aguas arriba a lo largo de la polilínea. Luego, se impone el caudal en las celdas que comparten los bordes a ambos lados de la polilínea, de acuerdo con el nivel común de la superficie del agua aguas arriba y siguiendo la tabla de curvas de gasto. El algoritmo de cálculo de IRT funciona de la siguiente manera: 1. Para cada intervalo de tiempo de cálculo, estime un nivel medio de la superficie del agua a cada lado de la polilínea IRT. 2. Calcule el caudal que atraviesa la polilínea IRT a partir de los niveles medios del agua del punto 1 utilizando la tabla de curvas de gasto. 3. Defina una velocidad media a partir del caudal y del área transversal mojada. 4. Asigne un caudal unitario común a cada par de celdas que comparten un segmento de polilínea.

**Nota**

Algunas configuraciones inadecuadas de polilíneas IRT o las polilíneas muy largas pueden restringir excesivamente el modelo y deben evitarse.

### 13.8.2 Supuestos de los cálculos de tablas de clasificación internas

La tabla de curvas de gasto no tiene en cuenta el control de salida. ## Fuentes y sumideros El componente Sources and Sinks permite contabilizar las entradas puntuales (fuentes) o salidas (sumideros) de agua en la malla. Esto permite simular, por ejemplo, tomas de agua en cualquier ubicación de la malla. Para ejecutar una simulación con Sources o Sinks, debe seleccionar la opción en el panel *Control Data* de DIP, como se muestra en la figura siguiente.



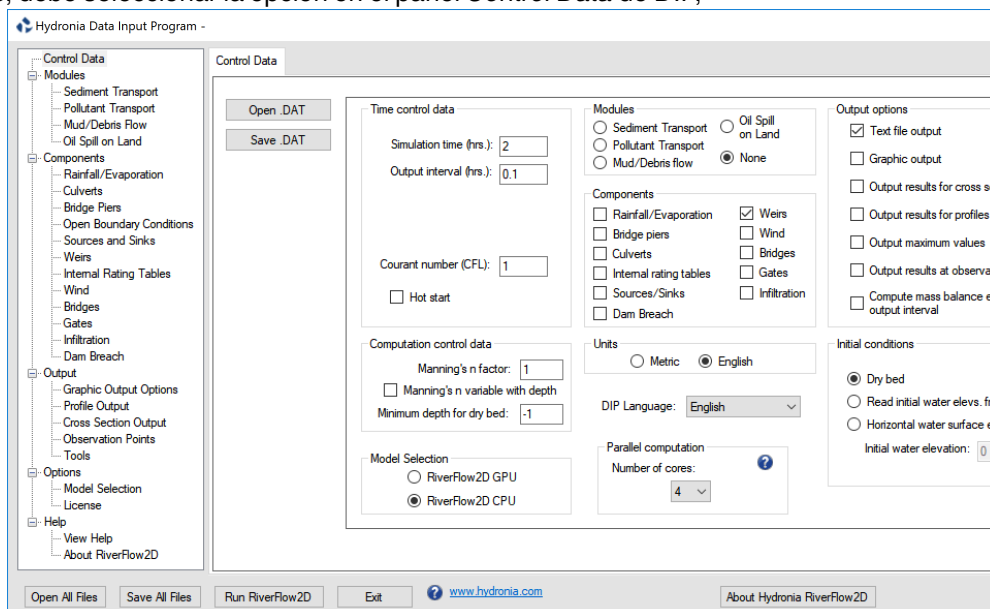
Los datos de Sources and Sinks se introducen en la capa *Sources* de RiverFlow2D.

### Nota

No hay límite para el número de fuentes y sumideros que se pueden utilizar.

## 13.9 Vertederos

El componente *Weirs* de RiverFlow2D puede ser conveniente al intentar simular el sobrepunto de diques o carreteras. La herramienta permite definir una polilínea que representa la alineación de la estructura y asignar elevaciones de coronación que pueden variar a lo largo de la polilínea. Para ejecutar una simulación con vertederos, debe seleccionar la opción en el panel *Control Data* de DIP,



como se muestra en la figura siguiente.

Los datos del plan de vertederos se introducen en la capa QGIS *Weirs*. Dado que RiverFlow2D

requiere que el vertedero pase por los nodos, es esencial que el motor de generación de mallas cree nodos a lo largo de la polilínea del vertedero. Para lograrlo, recuerde siempre volver a mallar después de cambiar cualquier alineación de vertedero en la capa *Weirs*.

#### Nota

No hay límite para el número de vertederos que se pueden utilizar.

### 13.9.1 Cálculos de vertederos

El algoritmo de cálculo de vertederos funciona de la siguiente manera: 1. Para cada intervalo de tiempo de cálculo, el modelo comprueba, para cada segmento definido por dos pares de celdas opuestas (L, R) a lo largo del vertedero, que al menos una de las celdas opuestas esté mojada y que su elevación de la superficie del agua esté por encima de la elevación de coronación. 2. Luego, el modelo calcula la elevación del agua en cada segmento del vertedero como:

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

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

3. Cuando los niveles de la superficie del agua a ambos lados están por debajo del nivel del vertedero,  $MAX(d_L, d_R) \leq d_w$ , la componente de velocidad normal a la dirección del segmento del vertedero se establece en cero.
4. De lo contrario, el modelo calcula la descarga normal del segmento según los niveles de agua a ambos lados.
5. La descarga se impone tanto en las como en las celdas.

El vertedero se simula suponiendo que la descarga por unidad de anchura  $q$  que cruza el vertedero está gobernada por la diferencia entre el nivel de la superficie del agua ( $d = h + z$ ) a 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 tienen en cuenta varias situaciones. Cuando ambas elevaciones del agua están por debajo de la elevación de la cresta del vertedero, este se comporta como una pared sólida y no cruza ningún flujo. Cuando  $d_l < d_r$ , sin pérdida de generalidad, pueden ocurrir dos situaciones de flujo diferentes dependiendo de los valores relativos de  $H_w$ ,  $z_l$ ,  $z_r$ ,  $d_l$  y  $d_r$ . Cuando  $H_w + \max(z_l, z_r) < \min(d_l, d_r)$ , la descarga viene dada por

$$q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{2g} (d_r - d_l)^{3/2}$$

donde  $C_d$  es el coeficiente adimensional de descarga del vertedero, cuyos valores están entre 0.611 y 1.1. Cuando  $H_w + \max(z_l, z_r) > \min(d_l, d_r)$ , la descarga viene dada por

$$q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{2g} (d_r - H_w)^{3/2}$$

### 13.9.2 Supuestos de los cálculos del vertedero

La elevación de la cresta del vertedero puede variar a lo largo de este, pero debe ser mayor que la de ambas celdas opuestas a cada segmento del vertedero.

## 13.10 Modelado de rotura de presas

El componente Dam Breach de RiverFlow2D proporciona una forma de simular la rotura gradual de obstrucciones lineales internas, como presas, diques, etc. Se proporcionan tres métodos: rotura prescrita, formación de la rotura por erosión debido al sobrevvertido y formación de la rotura por piping.

La presa se introduce como una polilínea arbitraria y se considera una barrera para el agua en movimiento que restringe, dirige o ralentiza el flujo, creando a menudo una acumulación de agua aguas arriba.

### 13.10.1 Rotura prescrita de presa

En RiverFlow2D, la presa se define como una condición de contorno interna y se modela como un trapecio progresivo. Para una parametrización completa de la rotura, se utilizan los siguientes parámetros y variables:

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

Los casos particulares incluyen  $b(t) = 0$ , que reduce la rotura a un vertedero triangular, y  $y = 0$ , que representa una rotura rectangular.

En general, la descarga total a través de la rotura se calculará mediante una ley del tipo:

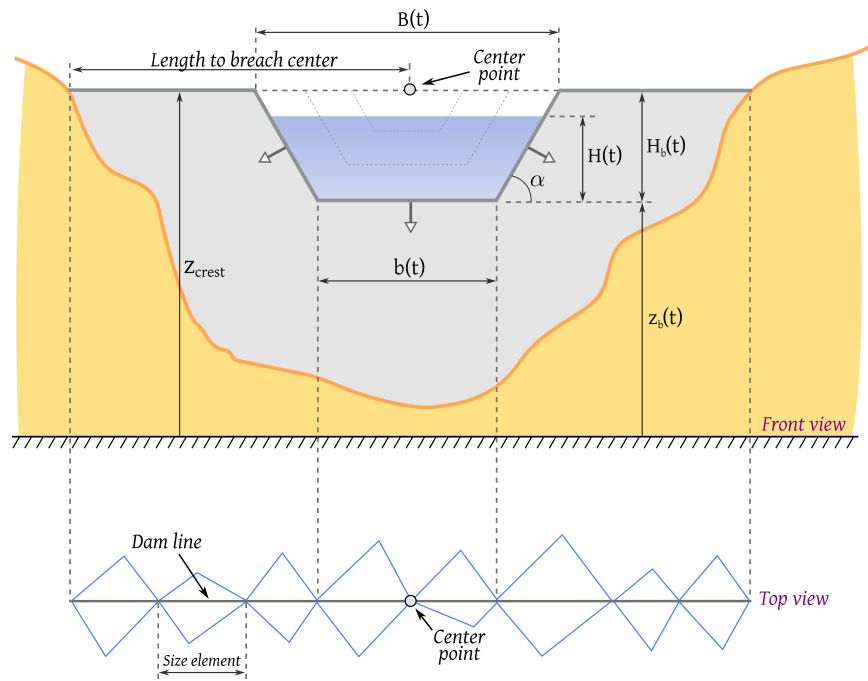
$$Q_b = C_d(2/3)\sqrt{2g}H^{3/2}$$

donde  $H = h + z - H_v$ ,  $H_v = z_{crest} - H_b$ ,  $B(H) = b(t) + 2\frac{H(t)}{tg\alpha}$ , y  $C_d$  es el coeficiente adimensional de descarga, cuyos valores están entre 0.611 y 1.1.

La descarga calculada en se distribuirá entre las celdas incluidas en la longitud superior de la rotura  $B(H_b)$ :

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





**Figura 13.19** – Dimensiones esquemáticas del modo de fallo de rotura prescrita de una presa.

### 13.10.2 Fallo de rotura de presa por erosión interna

La evolución de la rotura de la presa debida a la erosión interna supone que la sección transversal inicial del conducto se considera un arco con una base rectangular en la parte inferior y un semicírculo en la parte superior. Se utilizan ecuaciones de flujo por orificio y de flujo en canal abierto para calcular la descarga en flujos a presión y de superficie libre, respectivamente. Se adopta una fórmula basada en el esfuerzo cortante para calcular la tasa de erosión. Se supone que el túnel del conducto arqueado se ensancha hasta que el suelo suprayacente ya no puede mantener la estabilidad.

El colapso de la cubierta del conducto se determina comparando el peso del suelo suprayacente y la cohesión del suelo de las dos paredes laterales del conducto. Se supone que los planos de fallo son verticales y, por simplicidad, que el colapso se desplaza aguas abajo instantáneamente.

**Sección transversal de la expansión debida al proceso de erosión interna antes del colapso de la presa (izquierda) y evolución de la rotura trapezoidal después del colapso de la presa (derecha).**

## 13.11 Caudal a través de la sección transversal de la tubería

Si la tubería está completamente llena de agua, el caudal a través de ella puede estimarse mediante la siguiente ecuación de orificio:

$$Q_b = A \sqrt{\frac{2g(z_s - z_b)}{1 + fL/(4R)}}$$

siendo:

- $A = b^2 + \frac{1}{8}\pi b^2$  es el área de la sección transversal de la tubería,
- $b$  es el ancho de la base de la tubería,
- $z_{pb} = z_b + \frac{1}{2}b$  es la elevación de la línea central de la tubería,
- $z_b$  es la elevación del fondo de la tubería,
- $z_s = h + z_{bed}$  es la elevación del nivel de la superficie del agua,
- $L$  es la longitud de la tubería,
- $R = A/P$  es el radio hidráulico de la tubería
- $P = (3 + 0.5\pi)b$  es el perímetro mojado de la tubería,
- $f = 8gn^2 R^{-1/3}$  es el factor de fricción de Darcy-Weisbach de la superficie de la tubería,
- $n = \frac{1}{A_n} d_{50}^{1/6}$  es el coeficiente de rugosidad de Manning de la superficie de la tubería, y
- $A_n = 12$  es una constante.

Por otro lado, en caso de una tubería parcialmente llena, colapso de la cubierta o desbordamiento, el caudal se calcula mediante una ecuación de flujo de superficie libre:

$$Q_b = k_{sm} \left( c_r b (z_s - z_b)^{1.5} + \frac{c_t (z_s - z_b)^{2.5}}{\tan \beta} \right)$$

siendo:

- $k_{sm}$  es una corrección de sumergencia adimensional para los efectos del agua de cola,
- $\beta$  es el ángulo de la pendiente lateral de la brecha con respecto a la horizontal,
- $c_r = 1.7 \sqrt{m}/s$  es un coeficiente de descarga para la parte rectangular de la sección de la brecha, y
- $c_t = 1.2 \sqrt{m}/s$  es un coeficiente de descarga para la parte triangular de la sección de la brecha.

## 13.12 Erosión de la tubería

En lo que respecta al proceso de erosión, se adopta una fórmula basada en el esfuerzo cortante para calcular la tasa de erosión. A medida que se produce la erosión, la sección transversal completa de la tubería se amplía a lo largo de su altura y anchura debido a la remoción de materiales hasta que se produce el colapso de la cubierta de la tubería. La erosión vertical de la tubería se calcula mediante una relación de tasa de desprendimiento en exceso:

$$\frac{dz_b}{dt} = k_d (\tau_e - \tau_c)$$

siendo:

- $k_d$  es el coeficiente de erosión medido en la brecha,
- $\tau_c$  es el esfuerzo crítico requerido para iniciar el desprendimiento del material,
- $\tau_e = \frac{\rho_w g n^2 Q_b^2}{A^2 R^{1/3}}$  es el esfuerzo cortante del lecho en la superficie de la tubería, y
- $\rho_w$  es la densidad del agua.

Se supone que la tasa de erosión horizontal es igual a la tasa de erosión vertical y, por tanto, la evolución puede expresarse como:

$$\frac{db}{dt} = 2k_d(\tau_e - \tau_c)$$

El colapso de la cubierta de la tubería se estima comparando el peso del suelo suprayacente y la cohesión del suelo en las dos paredes laterales de la tubería. Se supone que los planos de falla son verticales y, por simplicidad, se supone que el colapso se desplaza aguas abajo instantáneamente. El arco finalmente se vuelve inestable debido a la erosión de la tubería y se produce el colapso de la masa de suelo situada sobre el arco. La falla de la cubierta se produce si la parte superior de la tubería en erosión ( $z_b + 1.5b$ ) alcanza la parte superior de la presa ( $z_{crest}$ ). Por otro lado, la falla también se produce si la fuerza impulsora  $F_d$  supera la fuerza resistente del suelo  $F_r$ . Por lo tanto, el modelo compara estas dos fuerzas en la dirección vertical. Una vez que la fuerza impulsora (igual al peso de la parte que falla) es mayor que la fuerza resistente, la cubierta situada sobre la tubería colapsará:

$$\begin{aligned} F_d &= \rho_w g [p + G_s(1 - p)] \left( A_a b - A_c \frac{L_2 + L_3}{2} \right) \\ &\quad + \rho_w g G_s(1 - p) A_b b \\ F_r &= 2C (A_a + A_b) \end{aligned}$$

donde  $p$  es la porosidad del material del suelo,  $G_s = \rho_d / \rho_w$  es la gravedad específica del suelo,  $\rho_d$  es la densidad del material del suelo y  $C$  es la cohesión de los rellenos de la presa. Las áreas  $A_a$ ,  $A_b$  y  $A_c$  se calculan como sigue:

$$\begin{aligned} A_a &= \frac{L_2 + L_3}{2} (z_s - (z_b + b)) \\ A_b &= \frac{L_1 + L_2}{2} (z_{crest} - z_s) \\ A_c &= \frac{1}{8} \pi b^2 \end{aligned}$$

siendo:

- $L_1$  el ancho de la coronación de la presa,
- $L_2 = L_1 + \frac{z_{crest} - z_s}{\tan \alpha_{uw}} + \frac{z_{crest} - z_s}{\tan \alpha_{dw}}$ ,
- $L_3 = L_2 + \frac{z_s - (z_b + b)}{\tan \alpha_{uw}} + \frac{z_s - (z_b + b)}{\tan \alpha_{dw}}$ ,
- $\alpha_{uw}$  el ángulo del talud aguas arriba de la presa, y
- $\alpha_{dw}$  el ángulo del talud aguas abajo de la presa.

#### Diagrama esquemático de la situación de la tubería.

Se supone que el techo colapsado de la tubería se desplaza aguas abajo instantáneamente. Después del colapso, domina la rotura por sobrevertido y el caudal de descarga de la brecha y la erosión vertical pueden estimarse utilizando las Ecs. y , respectivamente. La relación entre la expansión horizontal y el socavado vertical viene dada por el cambio en el ancho superior de la brecha  $\Delta B$ :

$$\Delta B = \frac{2\Delta z_b}{\sin \beta}$$

y el cambio en el ancho inferior de la brecha  $\Delta b$  viene dado por:

$$\Delta b = 2\Delta z_b \left( \frac{1}{\sin \beta} - \frac{1}{\tan \beta} \right)$$

## 13.13 Erosión por sobrevertido

El otro tipo de erosión considerado es la erosión por sobrevertido, en la que la brecha ya existe en la parte superior de la presa y se ensancha a medida que el flujo de agua circula a través de ella. El proceso de erosión hace que el ancho y la altura de la brecha trapezoidal evolucionen de acuerdo con las mismas expresiones matemáticas que en la sección anterior, cuando colapsa el techo de la presa:

- Evolución de la profundidad de la brecha:

$$\frac{dz_b}{dt} = k_d(\tau_e - \tau_c)$$

- Evolución del ancho de la brecha:

$$\frac{db}{dt} = 2k_d(\tau_e - \tau_c)$$

- Cambio en el ancho superior de la brecha:

$$\Delta B = \frac{2\Delta z_b}{\sin \beta}$$

- Cambio en el ancho inferior de la brecha:

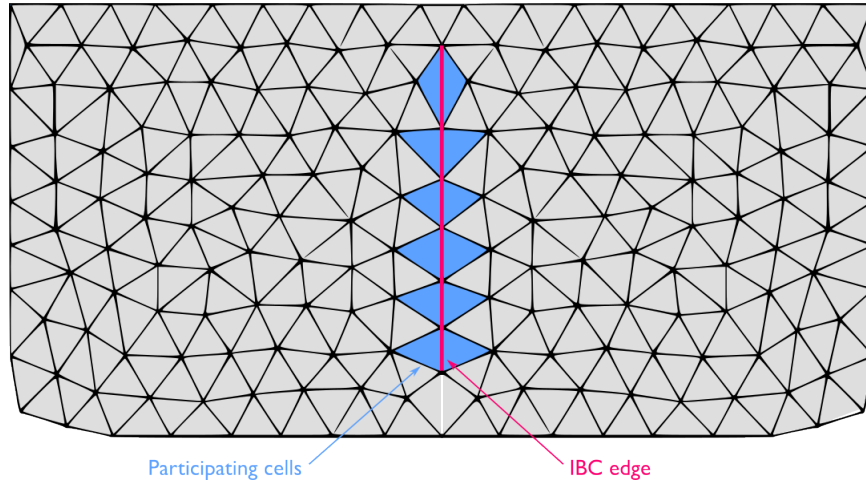
$$\Delta b = 2\Delta z_b \left( \frac{1}{\sin \beta} - \frac{1}{\tan \beta} \right)$$

**Evolución de la brecha trapezoidal para el caso de erosión por sobrevertido.**

## 13.14 Flujo de rotura de presa como condición de contorno interna

Al utilizar mallas triangulares, hay tres contribuciones para actualizar las tres variables conservadas. En las celdas de contorno, al menos uno de los bordes no tiene una celda vecina y son necesarias condiciones de contorno para completar la información proporcionada por el esquema numérico. La presencia de una estructura hidráulica interna puede modelarse mediante una condición matemática definida a lo largo de una línea interior del dominio computacional. Esto se denomina condición de contorno interna (IBC), es decir, cada par de celdas que comparte un borde en esa línea interior se considera celdas de contorno internas. Estas celdas se actualizan utilizando tanto la información del esquema numérico como la de la IBC. La figura siguiente muestra un ejemplo de IBC definida a lo largo de una línea de contorno interna donde varios pares de celdas (rellenas de azul) a ambos lados de la línea comparten un borde. Se utiliza una ley externa para definir el

módulo de la descarga a través de ellas, mientras que la profundidad del agua la proporciona el esquema numérico.



**Figura 13.20** – Celdas de contorno internas.

Suponiendo que no se ha producido el colapso del techo de la tubería y que la dirección del flujo es de izquierda a derecha, el elemento aguas arriba es la celda L y el elemento aguas abajo es la celda R. Los niveles de elevación de la superficie del agua en el lado izquierdo  $z_{s,L}^{n+1} = (h + z)_L^{n+1}$ , proporcionados por el esquema numérico

se utilizan para evaluar la descarga mediante la expresión externa de descarga. Primero, el cambio en la elevación del fondo de la tubería y el ancho debido a la erosión se calculan utilizando y como:

$$\begin{aligned} z_b^{n+1} &= z_b^n + \Delta t k_d (\tau_e - \tau_c)_b^n \\ b^{n+1} &= b^n + \Delta t 2 k_d (\tau_e - \tau_c)_b^n \end{aligned}$$

donde  $(\tau_e - \tau_c)_b^n$  representa el esfuerzo cortante erosivo en la brecha evaluado en el nivel temporal  $t^n$ . A continuación, las fuerzas impulsora y resistente del suelo,  $F_d$  y  $F_r$  respectivamente, se calculan utilizando y se comprueba la condición de colapso de la cubierta de la tubería. Por lo tanto, deben considerarse dos casos:

1. Si no se ha producido el colapso de la cubierta, se considera que la tubería está llena de agua y presurizada, de modo que el caudal impuesto de la celda en la tubería durante el siguiente nivel temporal se calcula como:

$$Q_b^{n+1} = A \sqrt{\frac{2g(z_{s,L}^{n+1} - z_b^{n+1})}{1 + fL/(4R)}}$$

donde las características integradas de la brecha  $A$ ,  $f$ ,  $L$ ,  $R$  se evalúan en el tiempo  $t^{n+1}$ .

2. Si se cumple la condición de colapso de la cubierta, se supone que la brecha de la presa está abierta y el caudal impuesto de la celda en la tubería durante el siguiente nivel temporal se calcula como:

$$Q_b^{n+1} = k_{sm} \left( c_r b^{n+1} (z_{s,L}^{n+1} - z_b^{n+1})^{1.5} + \frac{c_t (z_{s,L}^{n+1} - z_b^{n+1})^{2.5}}{\tan \beta} \right)$$

Obsérvese que, una vez que se produce el colapso de la cubierta, la condición de estabilidad de la tubería ya no debe comprobarse y se supone que la brecha de la presa está abierta. Independientemente de que la tubería se mantenga o colapse, se supone que el caudal unitario en cada par de celdas que compone la brecha de la presa es normal a la dirección del borde compartido  $\mathbf{n}_b$  y su módulo se actualiza como:

$$q_L^{n+1} = q_R^{n+1} = \frac{l}{W_b} Q_b^{n+1}$$

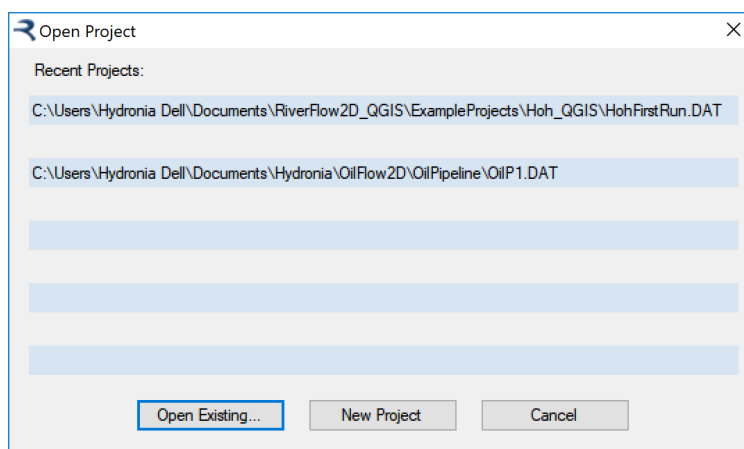
siendo  $W_b$  el ancho total de la brecha y  $l$  la longitud del borde compartido para cada par de celdas de frontera interna.

# 14

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

La interfaz de usuario del Programa de entrada de datos de Hydronia (DIP) proporciona las herramientas para introducir datos no espaciales y ejecutar RiverFlow2D. Todos los cambios introducidos en DIP se guardarán en los archivos de datos nativos de RiverFlow2D.

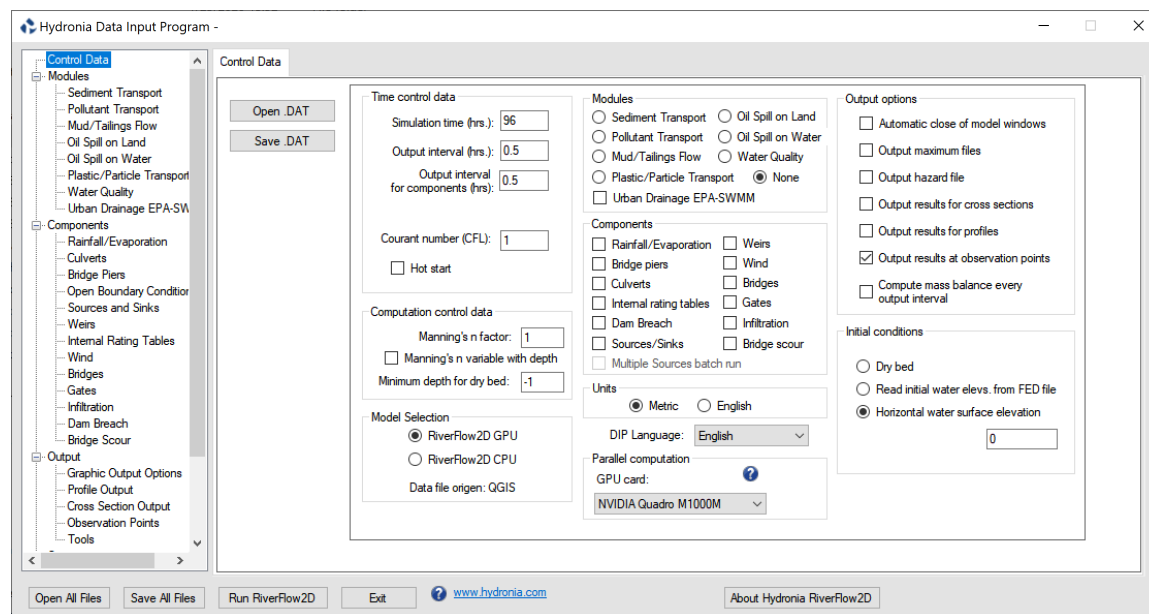
La DIP aparece cuando exporta los archivos a RiverFlow2D desde QGIS. También puede acceder a DIP haciendo doble clic en el icono de DIP  del escritorio. En ese caso, el programa le mostrará una lista de proyectos anteriores y le permitirá abrir cualquiera de ellos:



**Figura 14.1** – Cuadro de diálogo Abrir proyecto de DIP.

DIP proporciona un entorno de entrada de datos con paneles que incluyen todas las opciones no espaciales para ejecutar RiverFlow2D. La columna izquierda de la ventana principal le permite seleccionar módulos, componentes, opciones de salida, etc. Al hacer clic en una de las celdas, se activa el panel derecho correspondiente. Cada panel contiene los datos correspondientes a cada

uno de los archivos de datos de RiverFlow2D. Por ejemplo, el panel *Control Data* contiene todos los datos del archivo.



**Figura 14.2** – Ventana principal de DIP.

DIP permite seleccionar diferentes motores del modelo. Mediante las opciones del marco Model Selection puede seleccionar entre RiverFlow2D CPU o RiverFlow2D GPU. Tenga en cuenta que para ejecutar la versión GPU necesita el hardware GPU adecuado. Póngase en contacto con Hydronia en <mailto:support@hydronia.com> para consultar las tarjetas GPU NVIDIA compatibles actualmente.

Las siguientes secciones describen los cuadros de diálogo de los paneles de DIP.

## 14.1 Panel de Control Data (archivo .DAT)

Este panel determina las opciones generales de ejecución, como los parámetros de control del paso de tiempo, las unidades métricas o inglesas, el proceso físico (componentes), las salidas gráficas y las condiciones iniciales. También proporciona botones para abrir y guardar archivos y ejecutar el modelo RiverFlow2D. El programa se iniciará con el panel *Control Data* visible.



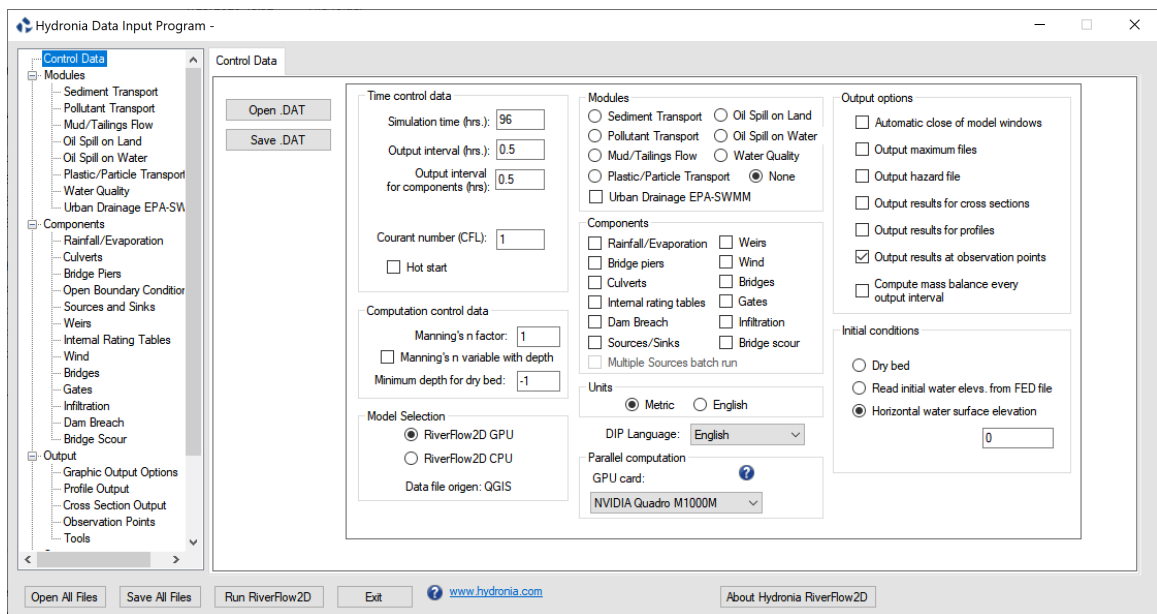


Figura 14.3 – Control Data Panel.

- **Open .DAT:** Abre un archivo existente.
- **Save .DAT:** Guarda un archivo con los datos mostrados en el panel.
- **Open All Files:** Guarda los datos de todas las pestañas habilitadas. *Nota: Esta operación no modifica las coordenadas y elevaciones de los nodos, la topología de la malla triangular, los coeficientes de rugosidad de Manning ni otros parámetros relacionados con la malla en el archivo.*
- **Run RiverFlow2D:** Ejecuta RiverFlow2D .
- **Exit:** Cierra DIP.
- **About DIP:** Muestra una descripción concisa de RiverFlow2D.
- **www.hydronia.com:** Abre la página de inicio de Hydronia.
- **DIP Language:** Lista desplegable que permite seleccionar el idioma de la interfaz de usuario del Data Input Program. Actualmente, las opciones disponibles son inglés y español. Se añadirán otros idiomas en futuras versiones.
- **Simulation time (h.):** Tiempo total de simulación en horas.
- **Output Interval (h.):** Intervalo de tiempo para la generación de informes de salida.
- **Output Interval for components (h.):** Intervalo de tiempo para la generación de informes de salida de los componentes. Se aplica a secciones transversales, perfiles, puntos de observación, alcantarillas, vertederos, rotura de presas, puentes y compuertas.
- **CFL:** Condición de Courant-Friederich-Lewy (CFL). Establezca este número en un valor del intervalo (0,1]. De forma predeterminada, CFL está establecido en 1.0, que es el valor recomendado para obtener el máximo rendimiento. Algunas aplicaciones poco frecuentes pueden requerir reducir CFL a 0.5 para evitar oscilaciones del modelo en los resultados del modelo.

- **Hot start:** Utilice esta opción para reiniciar el modelo a partir de una simulación anterior.
- **Metric:** Seleccione esta opción para trabajar con unidades métricas. Las coordenadas se expresan en metros, las velocidades en m/s, el caudal en m<sup>3</sup>/s, etc. La salida de texto se proporciona en unidades métricas.
- **English:** Seleccione esta opción para trabajar con unidades inglesas. Las coordenadas se expresan en pies, las velocidades en ft/s, el caudal en ft<sup>3</sup>/s, etc. La salida de texto se proporciona en unidades inglesas.

#### Nota

Al exportar archivos de RiverFlow2D desde QGIS, las unidades se establecen automáticamente según la Projection seleccionada. No se debe intentar cambiar a unidades diferentes de las de la proyección, ya que esto conducirá sin duda a resultados incorrectos del modelo.

- **Manning's n factor:** Use el factor XNMAN para probar la sensibilidad de los resultados al valor n de Manning y reducir el número de ejecuciones de calibración. Al utilizar esta opción, el valor n de Manning de cada celda se multiplicará por XNMAN. El valor predeterminado es XNMAN = 1.
- **Manning's n variable with depth:** Seleccione esta opción para establecer n de Manning como una función de la profundidad. El usuario debe introducir polígonos sobre la malla y cada polígono debe tener un archivo asociado que contenga la tabla de profundidad frente a n de Manning.
- **Minimum depth for dry bed:** Este parámetro indica la profundidad por debajo de la cual se supondrá que la velocidad de la celda es 0. De forma predeterminada, está establecido en -1, lo que permitirá al modelo establecer dinámicamente las condiciones de celda seca para profundidades menores que 10<sup>-6</sup>m.
- **Automatic close of model windows:** Las ventanas del modelo se cierran automáticamente en cuanto el programa finaliza la ejecución.
- **Output maximum files:** Opción que permite informar los valores máximos durante toda la simulación en los archivos de salida .MAXI, .MAXE y .EXP de valores máximos.
- **Output hazard file:** El modelo generará niveles de peligrosidad por inundación basados en los criterios utilizados en diferentes países .
- **Output results for cross sections:** Use esta opción para generar resultados para secciones transversales definidas por el usuario. La sección transversal se puede editar en el Cross Section Output Panel. Estos datos se guardan en un archivo.
- **Output results for profiles:** Use esta opción para generar resultados a lo largo de una polilínea definida por el usuario. Los datos de la polilínea se pueden editar en el Profile Cut Output Panel. Estos datos se guardan en un archivo.

- **Output results at observation points:** Opción que permite informar series temporales de resultados en ubicaciones especificadas definidas mediante coordenadas en el Observation Points Panel.
- **Compute mass balance every output interval:** Opción para calcular un balance detallado de masa o volumen. El informe se escribe en el archivo. Mantenga esta opción seleccionada para comprobar el balance general de masa del modelo, pero se recomienda desactivarla en las ejecuciones de producción, ya que acelerará el funcionamiento del modelo.
- **Mud/Tailings Flow:** Opción para activar el modelado de Mud and Tailings Flow. Los datos se pueden editar en el Mud/Tailings Flow Panel. Los datos se escriben en el archivo.
- **Oil Spill on Land:** Opción para activar el modelado de Overland Oil Spill. Los datos se pueden editar en el Oil Spill on Land Panel. Los datos se escriben en el archivo.
- **Oil Spill on Water:** Opción para activar el modelado de Oil Spill on Water. Los datos se pueden editar en el Oil Spill on Water Panel. Los datos se escriben en el archivo.
- **Pollutant Transport:** Opción para activar el modelado del transporte de contaminantes. Los datos del transporte de contaminantes se pueden editar en el Pollutant Transport Panel. Los datos se escriben en el archivo.
- **Sediment transport:** Opción para activar el modelado del transporte de sedimentos con erosión y deposición para un lecho móvil. Los datos del transporte de sedimentos se pueden editar en el Sediment Transport Panel. Estos datos se escriben en los archivos .SEDS y .SEDB.
- **Urban Drainage EPA-SWMM:** Opción para integrar el agua superficial con el modelo de drenaje pluvial EPA-SWMM. Los datos se escriben en el archivo.
- **Water Quality:** Opción para activar el modelo de calidad del agua. Los datos de calidad del agua se pueden editar en el Water Quality Panel. Los datos se escriben en el archivo.
- **Rainfall/Evaporation:** Opción para activar la precipitación y/o la evaporación. Los datos requeridos deben introducirse en el Rainfall /Evaporation Panel. Estos datos se escriben en el archivo.
- **Bridge piers:** Cambiar para permitir tener en cuenta la fuerza de arrastre de los pilares. Los datos de Bridge piers se pueden editar en el Bridge Piers Panel. Los datos se escriben en el archivo.
- **Bridges:** Cambiar para modelar Bridges utilizando la geometría de la sección transversal del puente y teniendo en cuenta las pérdidas de energía. Los datos se pueden editar en el Bridges Panel. Los datos se escriben en el archivo.
- **Bridge Scour:** Cambiar para calcular la socavación del puente en los pilares y estribos. Los datos se pueden editar en el Bridge Scour Panel. Los datos se escriben en el archivo.
- **Culverts:** Interruptor que indica si se utilizarán alcantarillas unidimensionales. Los datos de Culverts se pueden editar en el Culverts Panel. Los datos se escriben en el archivo.

- **Dam Breach:** Cambiar para activar el componente Dam Breach. Los datos se escriben en el archivo.
- **Gates:** Cambiar para modelar compuertas. Los datos se pueden editar en el *Gates Panel*. Los datos se escriben en el archivo.
- **Infiltration:** Opción para activar los cálculos de pérdidas por Infiltration. Los datos requeridos deben introducirse en el Infiltration Panel. Estos datos se escriben en el archivo.
- **Internal rating tables:** Cambiar para permitir el uso de tablas internas de relaciones nivel-caudal. Los datos se pueden editar en el Internal Rating Tables Panel. Los datos se escriben en el archivo.
- **Multiple sources batch run:** Cambiar para activar ejecuciones por lotes cuando se define más de una fuente. El modelo realizará ejecuciones secuenciales para cada fuente individual en directorios separados, que tendrán el nombre asignado a cada fuente.
- **Sources/Sinks:** Cambiar para indicar la existencia de fuentes o sumideros. Los datos de sources/sinks se pueden editar en el Sources/Sinks Panel. Los datos se escriben en el archivo.
- **Wind:** Esta opción activa el cálculo de la tensión del viento sobre la superficie del agua. Los datos se pueden editar en el Wind Panel. Los datos se escriben en el archivo.
- **Dry bed:** La simulación comenzará con un lecho completamente seco. Para las condiciones de contorno de caudal, se asigna una profundidad arbitraria ( $> 0.0$ ) para calcular el flujo de entrada por primera vez. Posteriormente, la profundidad del flujo en el contorno será determinada por el modelo.
- **Read initial water elevations from file:** Las elevaciones iniciales de la superficie del agua se leerán del archivo. Es posible asignar una elevación inicial de la superficie del agua espacialmente variable en la Initial Conditions Layer.
- **Horizontal water surface elevation:** Utilice esta opción para iniciar una simulación con una elevación inicial horizontal de la superficie del agua proporcionada por el usuario.
- **Initial water elevation:** Elevación inicial de la superficie del agua en toda la malla. Si la elevación inicial del agua se establece en -9999, el programa asignará una elevación constante del agua igual a la elevación máxima del lecho en la malla.

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

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

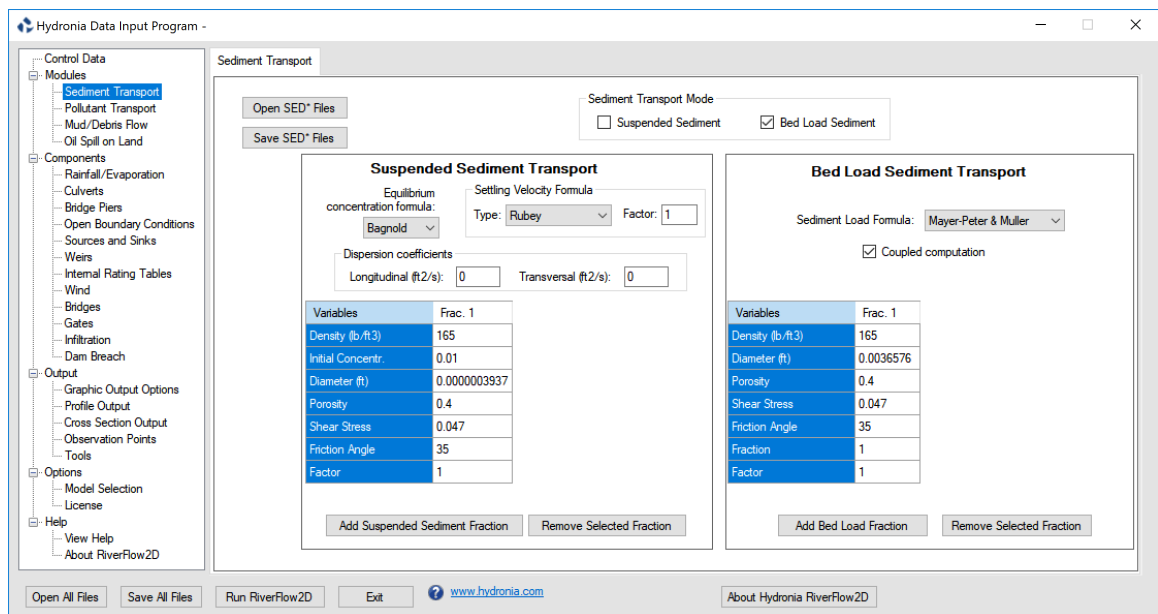


Figura 14.4 – Panel de transporte de sedimentos.

- **Suspended sediment:** Cuando se selecciona esta casilla de verificación, el modelo calculará las concentraciones de sedimentos utilizando el componente de transporte de sedimentos en suspensión. Consulte el comentario 1.
- **Bed load Sediment:** Al seleccionar esta casilla de verificación se activará el componente de transporte de sedimentos de fondo. Consulte el comentario 1.
- **\*\*Open .SED\*:\*\*** Abre un archivo .SEDS o .SEDB existente.
- **\*\*Save .SED\*:\*\*** Guarda los datos de sedimentos en los archivos .SEDS y .SEDB.
- **Equilibrium Concentration formula:** Cuando se selecciona esta casilla de verificación, el modelo calculará las concentraciones de sedimentos utilizando una de las siguientes fórmulas de transporte de sedimentos en suspensión:

1. Bagnold (1966)lb
2. Van Rijn (1984a)
3. Zhang and Xie (1993)

- **Settling Velocity Formula:** Es una fórmula única que se aplica a 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.
- **Dispersion coefficients:** Coeficientes de dispersión longitudinal y transversal para el módulo Suspended Sediment ( $\text{m}^2/\text{s}$  o  $\text{ft}^2/\text{s}$ ).
- **Density:** Densidad de los sedimentos en suspensión ( $\text{kg}/\text{m}^3$  o  $\text{lb}/\text{ft}^3$ ).
- **Initial Concentration:** Concentración volumétrica inicial de sedimentos. Consulte el comentario 2.
- **Diameter:** Tamaño característico de los sedimentos para esta fracción (m o ft).
- **Porosity:** Porosidad del lecho.
- **Shields Stress:** Esfuerzo crítico de Shields.
- **Friction Angle:** Ángulo de fricción de los sedimentos (grados).
- **Factor:** Factor de la fórmula de concentración de equilibrio para cada fracción. Este factor multiplica la concentración de equilibrio calculada por la fórmula seleccionada.
- **Añadir fracción de sedimento suspendido:** Se utiliza para añadir una nueva fracción. Se pueden utilizar hasta 10 fracciones.
- **Eliminar fracción seleccionada:** Elimina la fracción seleccionada.
- **Fórmula de carga de sedimentos:** Permite seleccionar una de las siguientes fórmulas de transporte de sedimentos:
  - **1. Meyer-Peter:** Muller (1948)

## 2. Ashida (1972)

## 3. Engelund (1976)

## 4. Fernandez (1976)

## 5. Ajuste de Parker a Einstein (1979)

## 6. Smart (1984)

## 7. Nielsen (1992)

## 8. Wong 1 (2003)

## 9. Wong 2 (2003)

## 10. Camenen-Larson (1966)

- **Densidad:** Densidad del sedimento ( $\text{lb}/\text{ft}^3$  o  $\text{kg}/\text{m}^3$ ).
- **Diámetro D30:** Tamaño D30 del sedimento (m). El 30% del sedimento es más fino que D30. Solo se utiliza para la fórmula de Smart.
- **Diámetro:** Tamaño característico del sedimento para esta fracción (m).
- **Diámetro D90:** Tamaño D90 del sedimento (m). El 90% del sedimento es más fino que D90. Solo se utiliza para la fórmula de Smart.
- **Porosidad:** Porosidad del sedimento.

- **Tensión de Shields:** Tensión crítica de Shields.
- **Ángulo de fricción:** Ángulo de fricción del sedimento (grados).
- **Fracción:** Fracción de material en el lecho. Todas las fracciones deben sumar 1.
- **Factor:** Factor de la fórmula de transporte para cada fracción. Este factor multiplica el resultado de la fórmula de transporte seleccionada.
- **Añadir fracción de carga de fondo:** Se utiliza para añadir una nueva fracción. Se pueden utilizar hasta 10 fracciones.
- **Eliminar fracción seleccionada:** Elimina la fracción seleccionada.

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

Puede seleccionar una o ambas opciones. Al utilizar la opción de transporte de sedimentos en suspensión, todos los archivos de datos de entrada deben contener series temporales de concentraciones volumétricas para cada fracción introducida. La concentración volumétrica debe proporcionarse como una fracción de 1. Tenga en cuenta que la concentración máxima total típica de carga en suspensión no supera 0.08. Las concentraciones superiores a 0.08 generalmente se consideran flujo hiperconcentrado, que queda fuera de la validez de los algoritmos de transporte de sedimentos. Por lo tanto, la suma de todas las concentraciones iniciales tampoco debe superar 0.08.

### 14.3 Panel de Urban Drainage EPA-SWMM (archivo .LSWMM)

Este panel se utiliza para mostrar el contenido del archivo e introducir datos para el módulo Urban Drainage. Se espera que cree los pozos de registro (nodos de intercambio) en el archivo de proyecto de EPA-SWMM. En este panel, puede editar el diámetro y el coeficiente de descarga de cada pozo de registro. Para activar este panel, primero seleccione *Urban Drainage EPA-SWMM* del grupo *Modules* en el panel izquierdo de DIP.

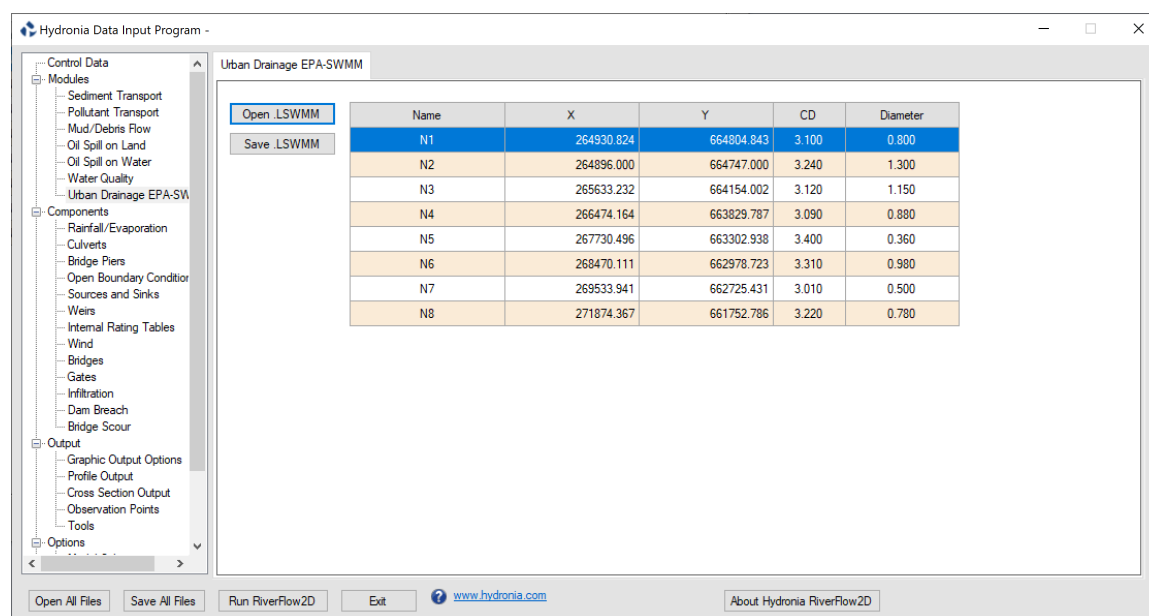


Figura 14.5 – Urban Drainage EPA-SWMM Panel.

- **CD:** Coeficiente de descarga para el nodo de intercambio.
- **Diameter:** Diámetro del nodo de intercambio.
- **Name:** Nombre del pozo de registro o nodo de intercambio. Debe tener menos de 26 caracteres y no debe contener espacios en blanco.
- **X Y:** Coordenadas del nodo de intercambio.

## 14.4 Panel de Mud and Tailings Flow Data (archivo .MUD)

Este panel permite introducir los datos necesarios para realizar simulaciones de flujo de lodos y relaves. Incluye opciones para el modelo de propiedades constantes y el modelo de propiedades variables. Para activar este panel, primero seleccione *Mud/Tailings Flow* en el *Components Frame* del *Control Data Panel*. Hay dos marcos separados para los modelos de propiedades constantes y de propiedades variables / erosión / deposición.

El panel también proporciona una herramienta para calcular el esfuerzo de cedencia, la viscosidad y la densidad del material basándose en la concentración volumétrica  $C_v$ , de acuerdo con diferentes procedimientos disponibles en publicaciones seleccionadas en las listas desplegadas.

Al utilizar el modelo de propiedades variables, el usuario puede introducir múltiples clases para representar los diferentes tipos de materiales caracterizados por su diámetro y densidad. En ese caso, es importante tener en cuenta que cada uno de los archivos de condiciones de contorno de entrada deberá contener, además del caudal o la elevación del agua, las concentraciones volumétricas  $C_v$  para cada clase de material indicada.

Los detalles adicionales sobre los datos de este panel pueden consultarse en la tabla de la sección , página.



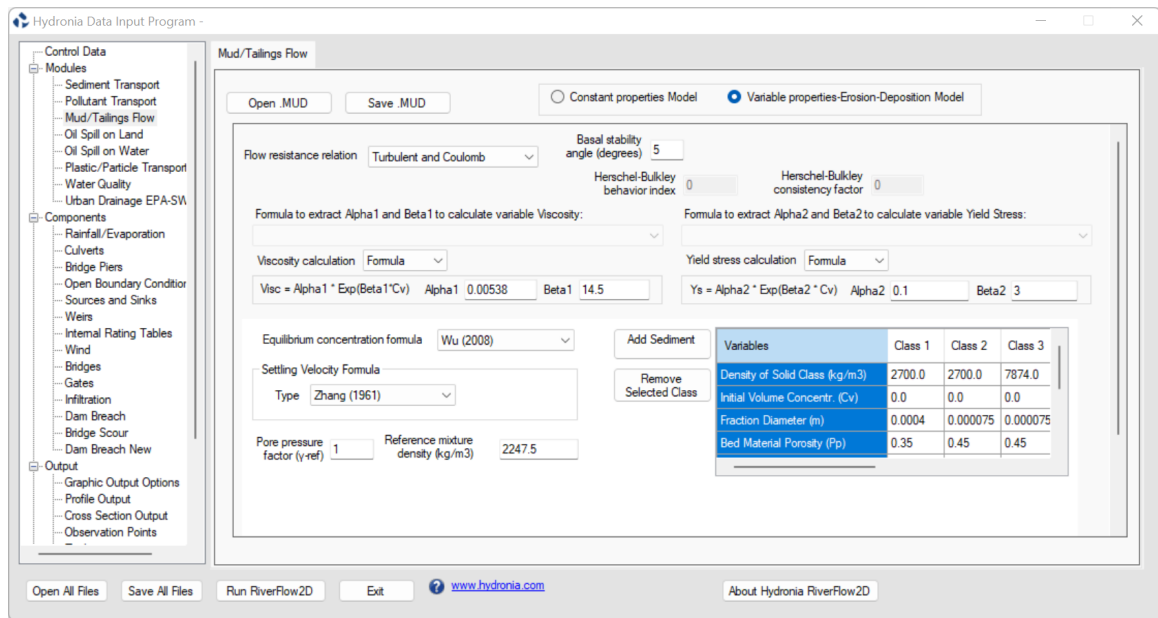


Figura 14.6 – Mud/Tailings Flow Panel.

- **Constant properties:** Seleccione el modelo de propiedades constantes, en el que la viscosidad, la densidad y el esfuerzo de cedencia permanecen invariantes en el espacio y el tiempo durante el cálculo.
- **Propiedades variables:** Seleccione el modelo de propiedades variables en el que la viscosidad, la densidad y el esfuerzo de fluencia pueden cambiar durante el cálculo. El modelo también puede considerar la distribución granulométrica del material con diferentes fracciones de tamaño, con erosión y deposición.

#### Relación de resistencia al flujo

1. Flujo turbulento
2. Bingham completo
3. Bingham simplificado
4. Turbulento y Coulomb
5. Turbulento y Yield
6. Turbulento, Coulomb y Yield
7. Cuadrático
8. Flujo granular
9. Herschel-Bulkley

#### Cálculo de la viscosidad

1. Constant: La viscosidad se supondrá constante en el espacio y el tiempo, e igual al valor introducido en el cuadro Viscosity para Constant properties.
2. Formula: La viscosidad dependerá de Cv según la Formula seleccionada como función de Cv.
3. Table: La viscosidad se interpolará a partir de la Cv vs Viscosity Table proporcionada por el usuario en la parte inferior del panel. Consulte el formato de archivo en la sección siguiente.

## Cálculo del esfuerzo de fluencia

1. Constant: El esfuerzo de fluencia se supondrá constante en el espacio e igual al valor introducido en el cuadro Yield stress para Constant properties.
2. Formula: El esfuerzo de fluencia dependerá de Cv según la Formula seleccionada como función de Cv.
3. Table: El esfuerzo de fluencia se interpolará a partir de la Cv vs Yield stress Table proporcionada por el usuario en la parte inferior del panel. Consulte el formato de archivo en la sección siguiente.

- **Cv:** Concentración volumétrica del fluido
- **Yield stress:** Esfuerzo de fluencia (Pa o lb/in<sup>2</sup>).
- **Viscosity:** Viscosidad del fluido (Poise o lb/in<sup>2</sup>).
- **Equilibrium concentration formula:** Lista de selección de diferentes autores.
- **Basal stability angle:** Ángulo de fricción del material (grados).
- **Settling Velocity Formula:** Es una fórmula única aplicable a 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 mediante la fórmula seleccionada.
- **Pore pressure factor:**  $\gamma_{ref} \geq 1$  es un factor de presión de poros definido por el usuario. Consulte la ecuación .
- **Material density:** Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup> o lb/ft<sup>3</sup>).
- **Reference density:**  $\rho_{ref} \geq \rho_w$  es la densidad de referencia definida por el usuario utilizada en el término de presión de poros. Debe ser mayor o igual que la densidad del agua (kg/m<sup>3</sup> o lb/ft<sup>3</sup>). Consulte la ecuación .
- **Density of solid class:** Densidad del sólido para cada clase (kg/m<sup>3</sup> o lb/ft<sup>3</sup>).
- **Initial Volume Concentration:** Concentración volumétrica inicial del material. Se anula si se proporcionan polígonos de Initial Concentration.
- **Fraction Diameter:** Tamaño característico del material para cada clase (m o ft).

- **Bed Material Porosity:** Porosidad del lecho utilizada al calcular la deposición.
- **Shields Critical Stress:** Esfuerzo crítico de Shields para cada clase.
- **Equilibrium Formula Factor:** Factor de la fórmula de concentración de equilibrio para cada clase. Este factor multiplica la concentración de equilibrio calculada por la fórmula seleccionada y se utiliza habitualmente para la calibración del modelo..
- **Bed material fraction:** Fracción inicial de cada clase en el material del lecho. La suma de las fracciones del material del lecho para todas las clases debe ser 1.
- **Settling velocity Factor:** Factor de la fórmula de velocidad de sedimentación para cada clase. Este factor multiplica la velocidad de sedimentación calculada por la fórmula seleccionada y se utiliza habitualmente para la calibración del modelo.
- **Add Sediment:** Se utiliza para añadir una nueva clase de material. Pueden utilizarse hasta 10 clases.
- **Remove Selected Class:** Elimina la clase seleccionada.

#### 14.4.1 Archivos de datos opcionales de viscosidad o esfuerzo de fluencia

Al seleccionar la opción Table de las listas desplegables Viscosity Calculation o Yield Stress Calculation, se debe proporcionar un archivo de datos que represente la variación de la viscosidad o del esfuerzo de fluencia con la concentración volumétrica  $C_v$ .

El formato del archivo es el siguiente

Línea 1: Número de puntos de la serie de datos.

**NDATA**

Líneas NDATA que contienen

**$C_v(I)$  VARIABLE(I)**

Donde VARIABLE(I) es la viscosidad o el esfuerzo de fluencia para el  $C_v(I)$  correspondiente.

##### 14.4.1.1 Ejemplo de los archivos de datos de Viscosity o Yield Stress

El siguiente ejemplo muestra un dato de yield stress en función de  $C_v$ , donde NDATA es 5 y hay 5 líneas con pares de  $C_v$  y  $Y_s$ :

```
5
0.00 0.
0.20 0.1
0.30 150.
0.50 500.
0.65 1200.
```

## 14.5 Panel de Pollutant Transport (.SOLUTES)

Utilice el panel *Pollutant Transport* para introducir los parámetros necesarios para caracterizar las tasas de reacción entre múltiples solutos, tal como se resume en la tabla.

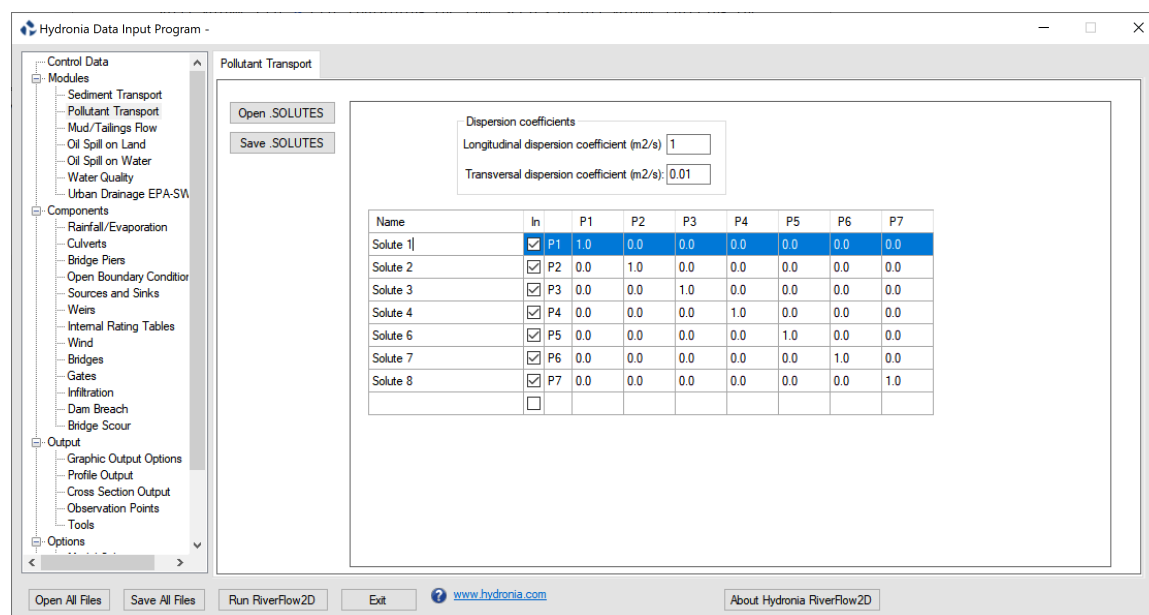
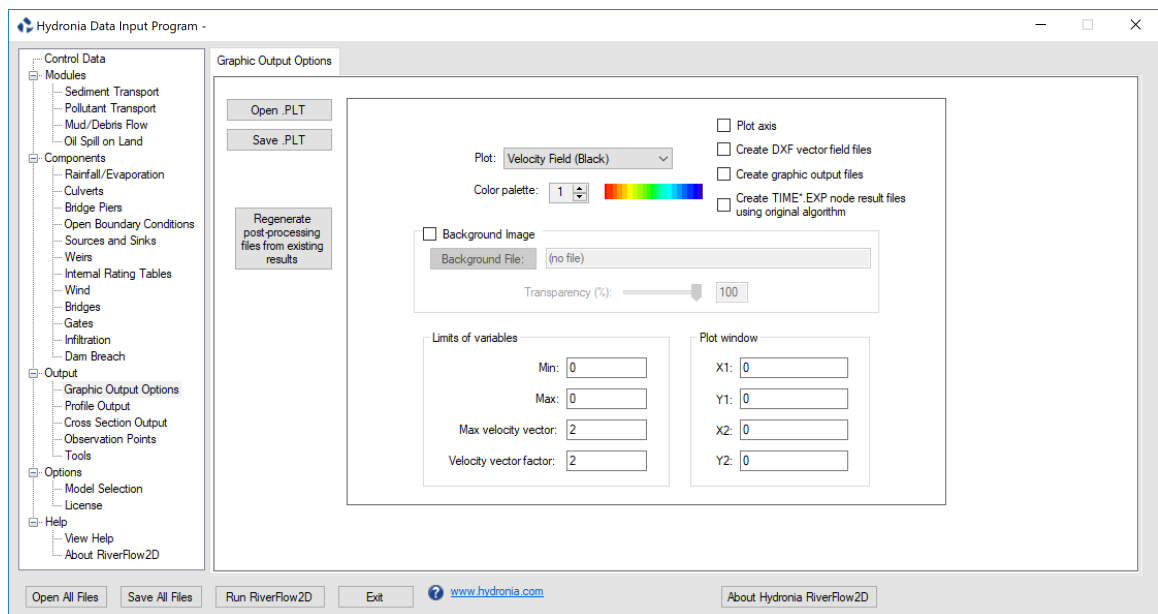


Figura 14.7 – Panel Pollutant Transport.

- **Dispersion coefficients:** Coeficientes de dispersión longitudinal y transversal para el módulo PL (m<sup>2</sup>/s o ft<sup>2</sup>/s).
- **Name:** Nombre del soluto.
- **In:** Casilla de verificación para incluir el contaminante en la simulación.
- **Reaction coefficients:** Matriz para introducir los coeficientes de reacción lineal entre los solutos. La matriz es simétrica. La diagonal puede utilizarse para introducir el coeficiente de decaimiento lineal de un contaminante determinado. Puede añadir más solutos haciendo clic en el nombre de la última fila. También puede eliminar un soluto seleccionando el nombre y utilizando la tecla de teclado Delete. Los títulos de las columnas (P1, P2,...) corresponden a cada soluto.

## 14.6 Pestaña Graphic Output Options (archivo .PLT)

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



**Figura 14.8** – Panel de salida gráfica.

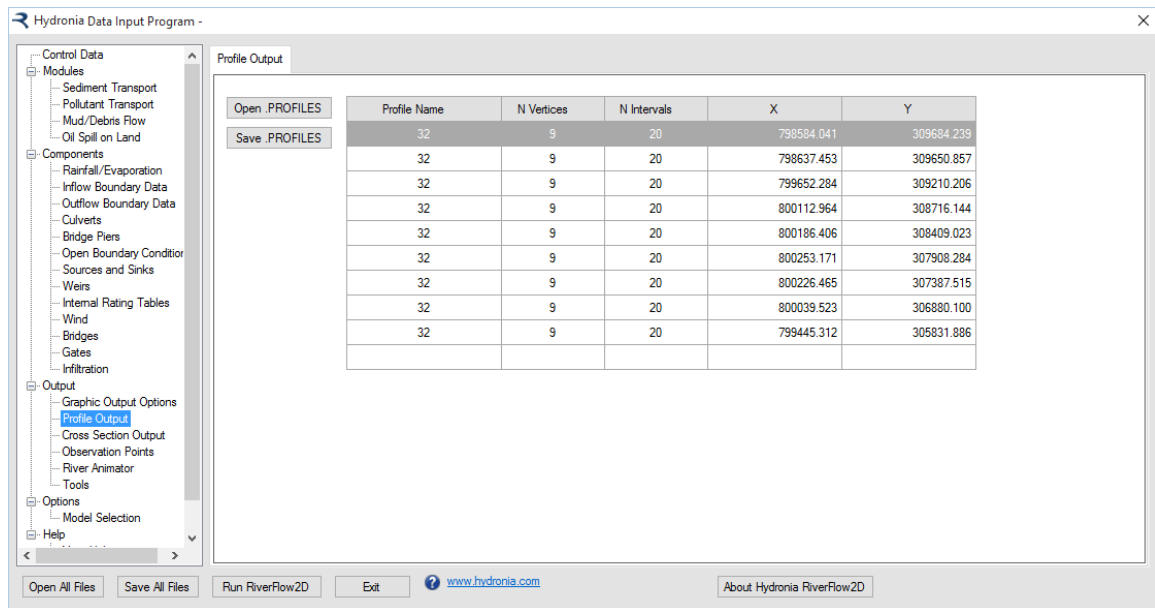
- **Open:** Abre un archivo de datos de salida existente.
- **Save:** Guarda únicamente los datos de salida gráfica en un archivo.
- **Regenerate post-processing files from existing results:** Use este botón para crear archivos de salida a partir de simulaciones existentes. Los archivos de salida escritos durante una simulación anterior deben estar disponibles.
- **Plot:** Elija el gráfico deseado de la lista:
  - Campo de velocidades mediante flechas negras.
  - Campo de velocidades mediante flechas coloreadas según la magnitud de la velocidad.
  - Velocidades en negro sobre profundidades coloreadas.
  - Velocidades en negro sobre elevaciones del lecho coloreadas.
  - Profundidad del flujo.
  - Elevación del lecho.
  - Elevaciones del agua.
  - Velocidades en negro sobre elevaciones del agua coloreadas.
  - Erosión y deposición.
  - Concentración
- **Color palette:** Para uso futuro.
- **Plot axis:** Para uso futuro.

- **Create DXF vector field files:** Genere archivos DXF de vectores de velocidad (CAD). Esta opción también exportará la malla en formato DXF al archivo: <ProjectName>\_MESH.DXF.
- **Create graphic output files:** Para uso futuro.
- **Create node result files using original algorithm.:** Al ejecutar RiverFlow2D, esta opción generará archivos utilizando un algoritmo para calcular valores nodales a partir de valores de celda que estaba disponible en versiones anteriores a 2018.
- **Background image:** Para uso futuro.
- **Background file:** Para uso futuro.
- **Transparency:** Para uso futuro.
- **Min:** Para uso futuro.
- **Max:** Para uso futuro.
- **Max velocity vector:** Para uso futuro.
- **Velocity vector factor:** Para uso futuro.
- \*\*\*\*Plot Window Frame: Para uso futuro.
- **X1:** Para uso futuro.
- **Y1:** Para uso futuro.
- **X2:** Para uso futuro.
- **Y2:** Para uso futuro.

## 14.7 Panel de Profile Output (archivo .PROFILES)

Use este panel para introducir las coordenadas de la polilínea donde se generarán los resultados del modelo. El modelo generará resultados y archivos. Para activar este panel, primero seleccione *Profile Output* en *Output*, dentro del grupo *Output*, en el panel izquierdo de DIP.

Consulte la sección del archivo de salida para ver la descripción del contenido del archivo de salida.

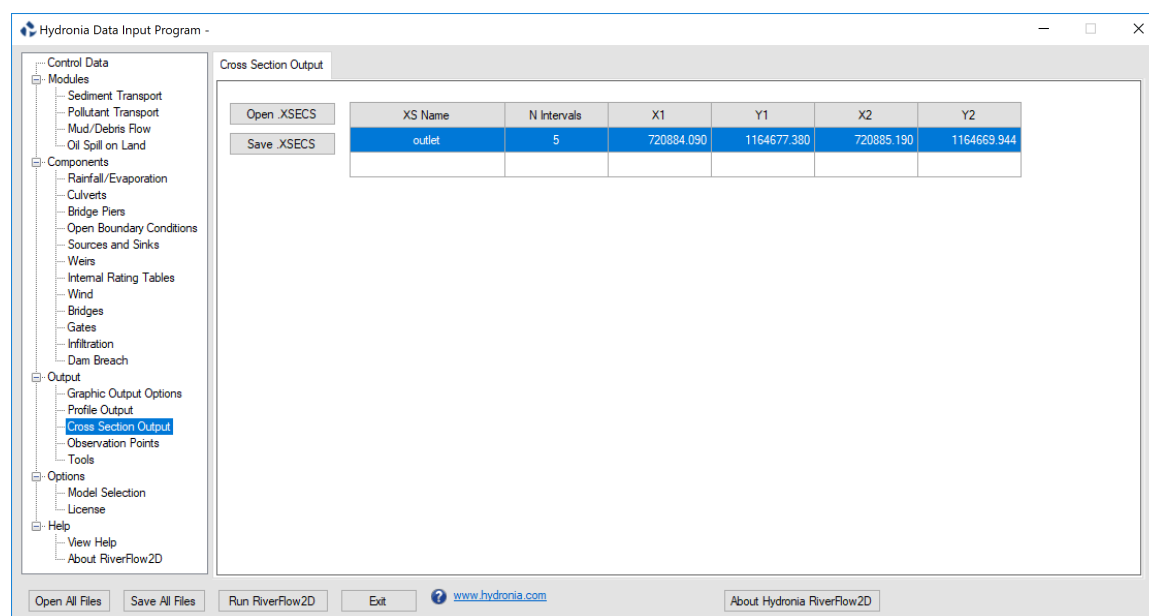


**Figura 14.9** – Archivo de salida de perfil.

- **Profile name:** Nombre del perfil. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **N Vertices:** Número de vértices de cada perfil.
- **N Intervals:** Intervalos en los que se divide cada subsegmento del perfil entre vértices. Los resultados se notificarán en cada intervalo.
- **X, Y:** Coordenadas de cada vértice de la polilínea.
- **Open:** Abre un archivo existente.
- **Save:** Guarda únicamente los datos del perfil en un archivo.

## 14.8 Panel de Cross Section Output (archivo .XSECS)

Use este panel para introducir las coordenadas de las secciones transversales que intersectan la malla de celdas triangulares donde desea generar los resultados del modelo. RiverFlow2D generará resultados y archivos. Para activar este panel, primero seleccione *Cross Section Output* del grupo *Output* en el panel izquierdo de DIP.



**Figura 14.10** – Panel de Cross Section Output.

- **XS Name:** Nombre de la sección transversal. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **N Intervals:** Intervalos en los que se dividirá cada sección. Los resultados se extraerán y se notificarán en cada intervalo.
- **X1 Y1 X2 Y2:** Cada fila corresponde a las coordenadas del inicio (X1,Y1) y del final (X2,Y2) de una sección transversal.
- **Open:** Abre un archivo existente.
- **Save:** Guarda únicamente los datos de la sección transversal en un archivo.

## 14.9 Panel de Culverts (archivo .CULVERTS)

Este panel se utiliza para mostrar el contenido del archivo e introducir datos de las alcantarillas. La figura muestra el panel *Culvert* con tres alcantarillas. Al seleccionar *Culvert1* en la primera fila se muestra la tabla de curvas de gasto asociada. Para activar este panel, primero seleccione *Culverts* del grupo *Components* en el panel izquierdo de DIP.



Hydronia Data Input Program - Culverts

Control Data Modules: Sediment Transport, Pollutant Transport, Mud/Debris Flow, Oil Spill on Land, Components: Rainfall/Evaporation, Inflow Boundary Data, Outflow Boundary Data, **Culverts**, Bridge Piers, Open Boundary Condition, Sources and Sinks, Weirs, Internal Rating Tables, Wind, Bridges, Gates, Infiltration, Output: Graphic Output Options, Profile Output, Cross Section Output, Observation Points, River Animator, Tools, Options: Model Selection, Help.

Open .CULVERTS Save .CULVERTS

| Culvert Name | Type     | Culvert File | X1     | Y1     | X2     | Y2     |
|--------------|----------|--------------|--------|--------|--------|--------|
| CULVERT1     | circular | DATA1.TXT    | 10.017 | 21.107 | 18.895 | 21.022 |
| CULVERT2     | circular | DATA2.TXT    | 9.960  | 6.255  | 19.350 | 5.998  |

Manning's n roughness coefficient: user defined (0.012) Number of barrels: 1

Entrance loss coefficient: user defined

Culvert inlet control formula coefficients: user defined

m: -0.5 Diameter (Dc) (m): 0.10

Invert elevations: ☐ Use element elevations (ft) Z1: 5 Z2: 1

Kc: 0.5

K' 1 M 1 c' 1.1 Y 0.6

Open All Files Save All Files Run RiverFlow2D Exit www.hydronia.com About Hydronia RiverFlow2D

Figura 14.11 – Panel de Culverts que muestra datos en la curva de gasto.

La figura muestra los controles de entrada de datos correspondientes que aparecen al seleccionar la primera fila de Culvert1, que es una alcantarilla circular.

- **Culvert Name:** Nombre de la alcantarilla. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **Type:** Tipo de alcantarilla. Para Type = 0, el caudal de la alcantarilla se calcula a partir de una tabla de curvas de gasto proporcionada por el usuario en el Culvert File. Para Types = 1 y 2, el caudal se calcula mediante ecuaciones de alcantarillas basadas en las características de la alcantarilla proporcionadas en el Culvert File.
- **Culvert File:** Nombre del archivo de la tabla de curvas de gasto de la alcantarilla o datos de las características de la alcantarilla. El nombre no debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **X1, Y1, X2, Y2:** Coordenadas de los vértices que definen cada línea de alcantarilla.
- **Manning's roughness coefficient:** Coeficiente n de Manning de la alcantarilla indicado en la tabla de coeficientes de rugosidad.
- **Entrance loss coefficient:** Coeficiente de pérdida de entrada de la alcantarilla indicado en la tabla de coeficientes de pérdida de entrada.
- **Culvert inlet control formula coefficients:** Coeficientes de la fórmula de control de entrada de la alcantarilla indicados en la tabla de control de entrada de alcantarillas.
- **m:** Coeficiente de forma de la entrada.  $m=0.7$  para entradas en inglete,  $m=-0.5$  para todas las demás entradas.
- **Barrel height (Hb):** Altura del conducto para alcantarillas tipo cajón (ft o m). Solo para alcantarillas tipo cajón: CulvertType = 1.
- **Barrel width (Base):** Anchura del conducto para alcantarillas tipo cajón (m o ft). Solo para alcantarillas tipo cajón: CulvertType = 1.
- **Diameter (Dc):** Diámetro del barril para alcantarillas circulares (m o ft). Solo para alcantarillas circulares: CulvertType = 2.
- **Number of barrels:** Número de barriles idénticos.

- **Use cell elevations:** Cuando se selecciona esta casilla, el modelo extraerá las elevaciones de solera de entrada y salida de las elevaciones de celda de los puntos finales de la alcantarilla. Si la casilla no está seleccionada, el usuario puede introducir la elevación de solera de entrada (Z1) y las elevaciones de solera de salida (Z2), que pueden ser diferentes de las elevaciones de celda.
- **Open:** Abre un archivo existente.
- **Save:** Guarda solo los datos de la alcantarilla en un archivo.

## 14.10 Panel de Internal Rating Tables (archivo .IRT)

Este panel se utiliza para mostrar el contenido del archivo e introducir datos para Internal rating Tables. En este panel también se pueden editar las polilíneas, el tipo y el nombre del archivo de datos de Internal Rating Table. Para activar este panel, primero seleccione *Internal Rating Table* en el grupo *Components* del panel izquierdo de DIP.

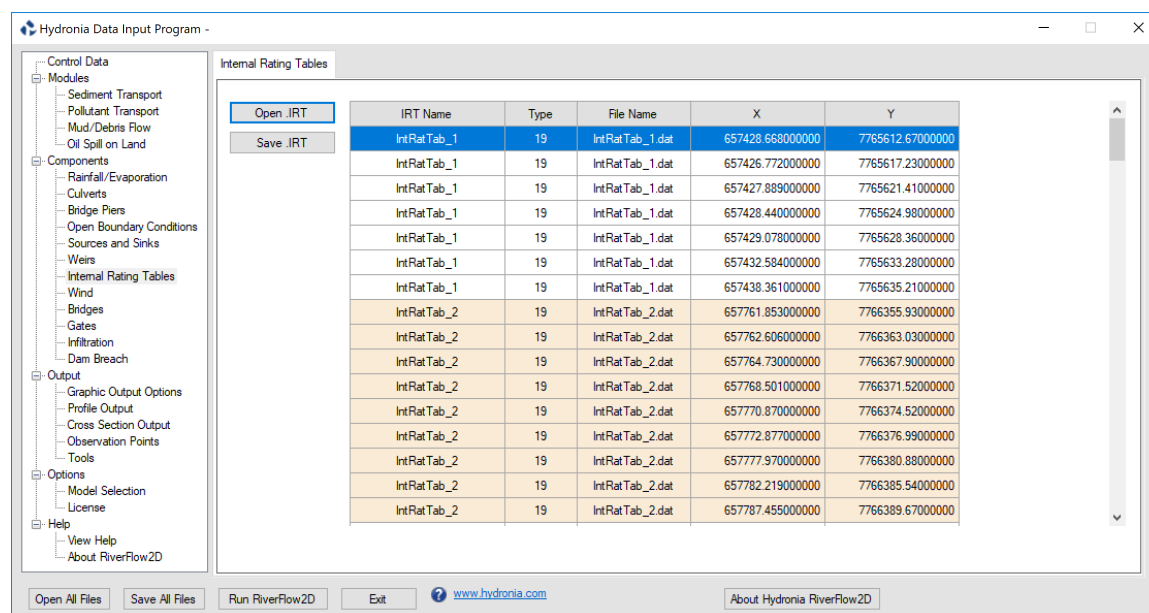


Figura 14.12 – Panel Internal Rating Tables.

- **IRT Name:** Nombre de la tabla de clasificación interna. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **Type:** La condición de contorno siempre es igual a 19 en esta versión, correspondiente a tablas de caudal frente a elevación de la superficie del agua.
- **File Name:** Nombre del archivo que contiene los datos de la tabla de clasificación interna en el formato descrito como archivo de datos de elevación-caudal.
- **X, Y:** Coordenadas de los vértices que definen cada polilínea IRT.
- **Open:** Abre un archivo existente.
- **Save:** Guarda solo los datos de la tabla de clasificación interna en un archivo.

## 14.11 Panel de Weirs (archivo .WEIRS)

Este panel se utiliza para mostrar el contenido del archivo. En este panel también se pueden crear datos de polilíneas de vertederos. Para activar este panel, primero seleccione *Weirs* en el grupo *Components* del panel izquierdo de DIP.

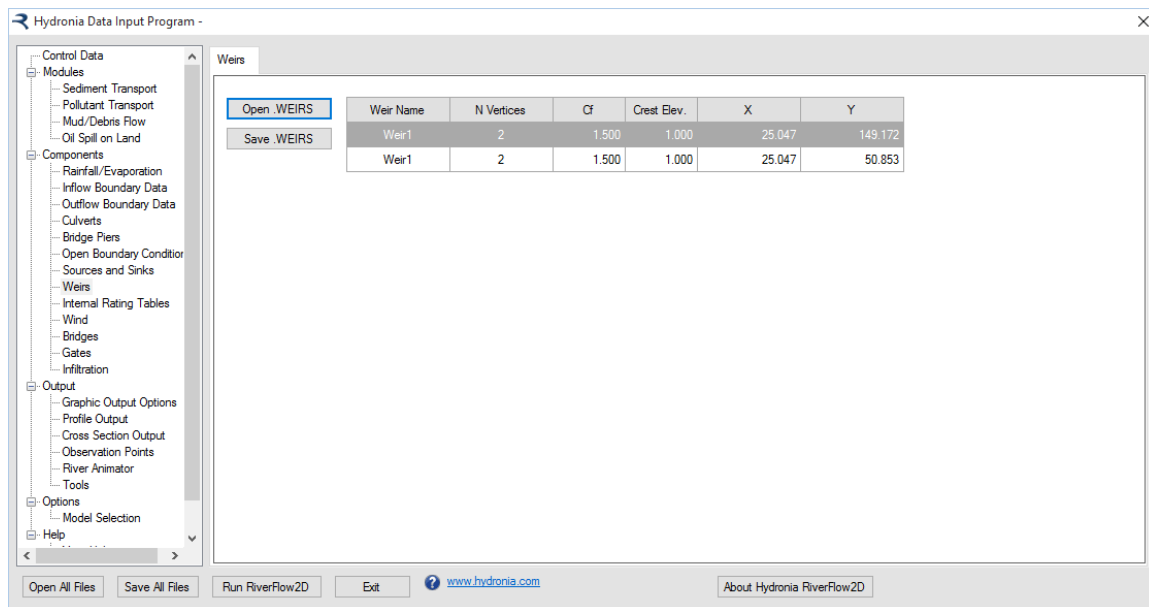


Figura 14.13 – Panel Weirs.

- **Weir Name:** Nombre del vertedero. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **N Vertices:** Número de puntos que definen cada polilínea de vertedero.
- **Cf:** Coeficiente del vertedero.
- **X, Y:** Coordenadas de los vértices que definen cada polilínea de vertedero (m o ft).
- **Open:** Abre un archivo existente.
- **Save:** Guarda únicamente los datos del vertedero en un archivo.

## 14.12 Panel de Sources/Sinks (archivo .SOURCES)

Este panel se utiliza para mostrar el contenido del archivo. Utilice también este Panel para crear los datos de ubicación, tipo y archivo de datos de fuentes y sumideros. Para activar este panel, primero seleccione *Sources and Sinks* del grupo *Components* en el panel izquierdo de DIP.

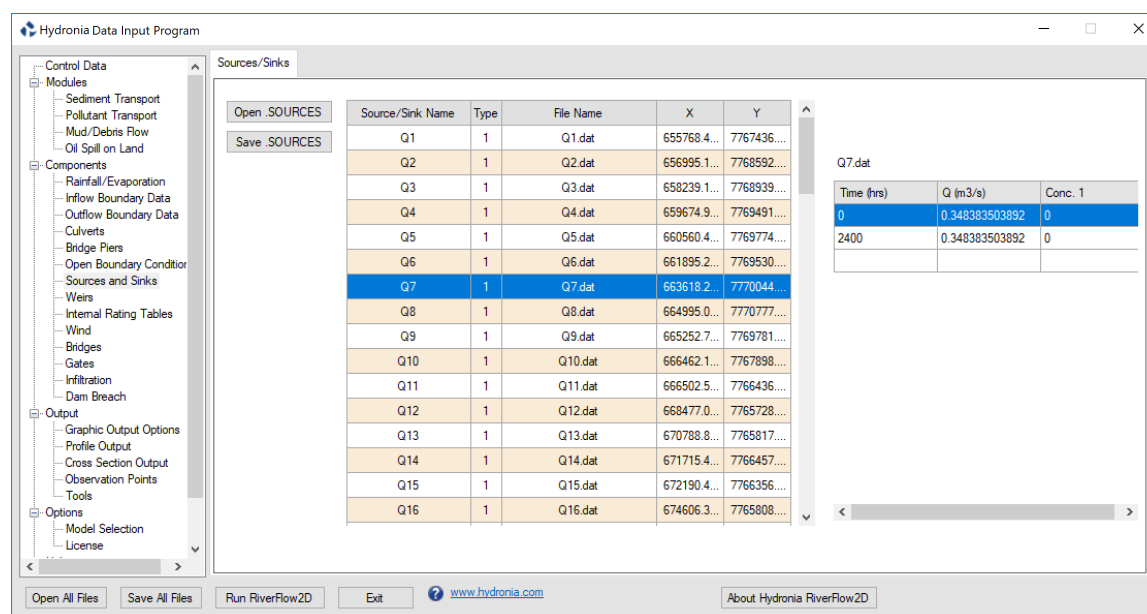


Figura 14.14 – Sources/Sinks Panel.

- **Source/Sink Name:** Nombre de la fuente o sumidero puntual. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **File Name:** Nombre del archivo que contiene la serie temporal o la tabla de clasificación de cada fuente o sumidero puntual.
- **Type:** Tipo de fuente/sumidero. Si es igual a 1, el archivo debe contener un hidrograma. Si es igual a 2, contiene una tabla de clasificación con valores de profundidad frente a caudal.
- **X, Y:** Coordenadas del punto.
- **Open:** Abre un archivo existente.
- **Save:** Guarda únicamente los datos de fuentes y sumideros en un archivo.

## 14.13 Panel de Bridge Scour (archivo .SCOUR)

Este panel se utiliza para mostrar el contenido del archivo. Utilice este Panel para editar los datos de pilas o estribos de puente y calcular la socavación en esas estructuras. Para activar este panel, primero seleccione *Bridge Scour* del grupo *Components* en el panel izquierdo de DIP.

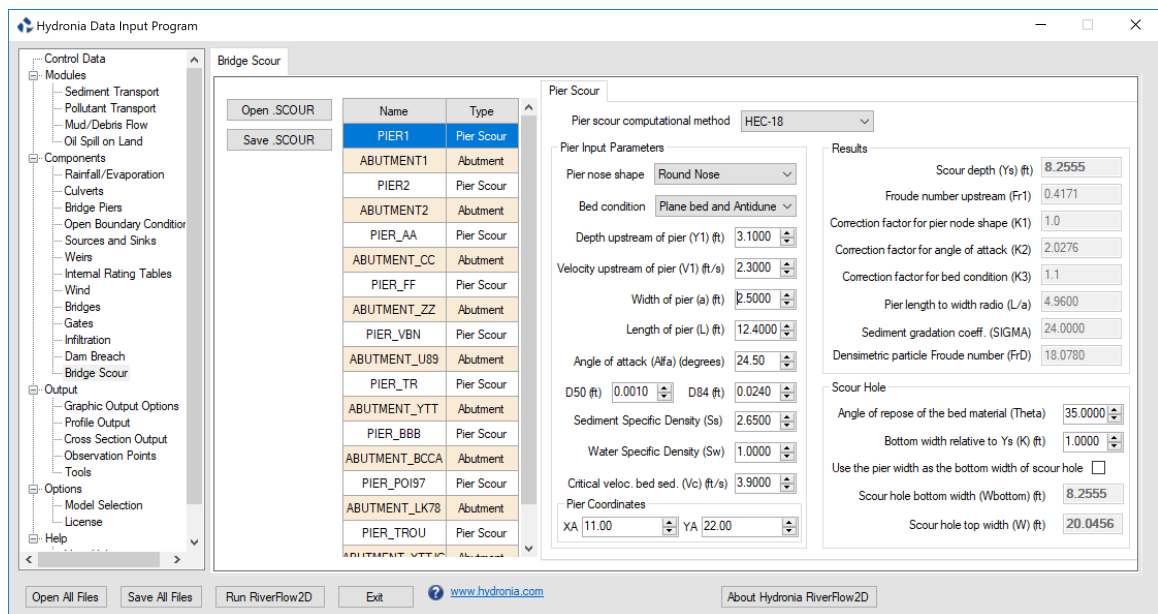


Figura 14.15 – Bridge Scour Panel.

- **Pier ID:** Nombre de la pila
- **Icomp::** Método computacional
- **XA, YA:** Coordenadas de la pila
- **Y1:** Profundidad del flujo directamente aguas arriba de la pila
- **V1:** Velocidad aguas arriba de la pila
- **Alfa:** Ángulo de ataque
- **alfaRAD:** Ángulo de ataque
- **ishape:** Forma de la pila
- **L:** Longitud de la pila
- **a:** Ancho de la pila
- **iBedCondition:** Condición del lecho
- **D50:** D50
- **D84:** D84
- **Sediment Specific Density:** Ss
- **Water Specific Density:** Sw
- **K1:** Factor de corrección para la forma de la nariz de la pila.
- **K2:** Factor de corrección para el ángulo de ataque del flujo
- **K3:** Factor de corrección para la condición del lecho
- **K:** Ancho del fondo relativo a Ys.
- **theta:** Ángulo de reposo del material del lecho
- **ys:** Profundidad de socavación
- **W:** Ancho superior del foso de socavación
- **Wbottom:** Ancho inferior del foso de socavación
- **Fr1:** Número de Froude aguas arriba de la pila
- **FrD:** Número de Froude densimétrico de las partículas
- **SIGMA:** Coeficiente de gradación del sedimento
- **Vc:** Velocidad crítica para el inicio de la erosión del material

- **iAbutmentType:** Tipo de estribo
- **AlfaA:** Factor de amplificación para condiciones de lecho vivo
- **AlfaB:** Factor de amplificación para condiciones de agua clara
- **YmaxLB:** Profundidad máxima del flujo después de la socavación para condiciones de lecho vivo
- **YmaxCW:** Profundidad máxima del flujo después de la socavación para condiciones de agua clara
- **YcLB:** Profundidad que incluye la socavación por contracción de lecho vivo
- **YsA:** Profundidad de socavación del estribo
- **YcCW1:** Profundidad que incluye la socavación por contracción en agua clara. Método 1
- **YcCW2:** Profundidad, incluido el azolve por contracción en agua clara. Método 2
- **q1:** Caudal unitario aguas arriba
- **q2c:** Caudal unitario aguas arriba de la abertura constreñida
- **n Manning:** n de Manning
- **TauC:** Esfuerzo cortante crítico
- **GammaW:** Peso unitario del agua
- **BridgeXSEC\_X1, BridgeXSEC\_Y1, BridgeXSEC\_X2, BridgeXSEC\_Y2:** Coordenadas de los puntos extremos de la sección transversal del puente
- **UpstreamXSEC\_X1, UpstreamXSEC\_Y1, UpstreamXSEC\_X2, UpstreamXSEC\_Y2:** Coordenadas de los puntos extremos de la sección transversal aguas arriba
- **Open:** Abre un archivo existente.
- **Save:** Guarda únicamente los datos de pilas y estribos del puente en un archivo.

## 14.14 Panel de Bridge Piers (archivo .PIERS)

Este panel se utiliza para mostrar el contenido del archivo. En este panel también se pueden introducir la ubicación de la pila del puente y los datos de geometría de la pila. Para activar este panel, primero seleccione *Bridges Piers* en el grupo *Components* del panel izquierdo de DIP.

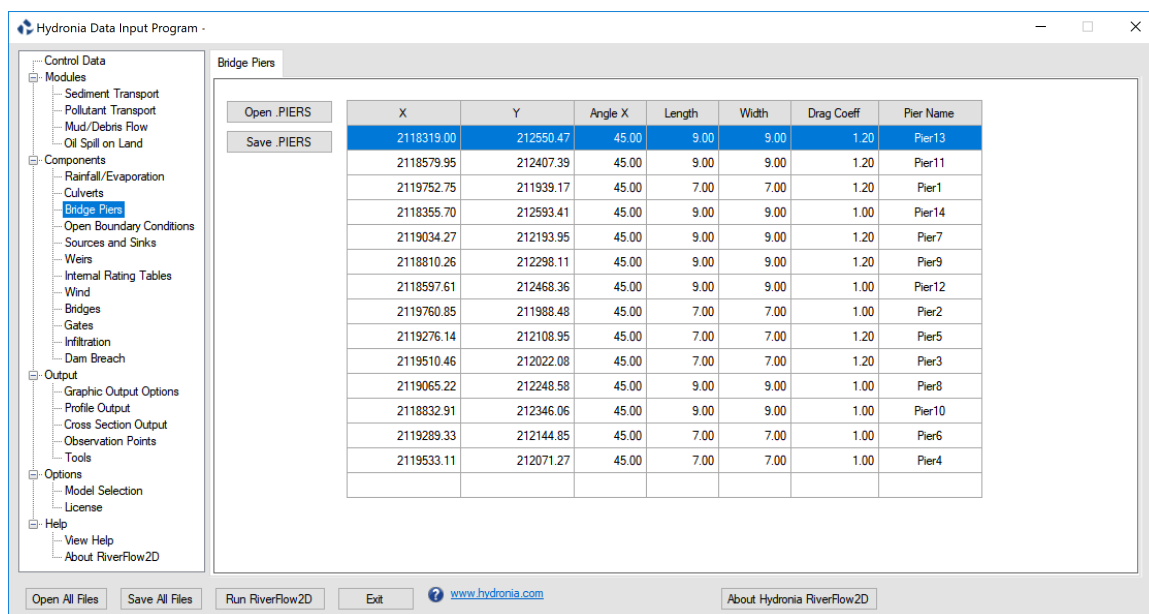


Figura 14.16 – Panel Bridge Piers.

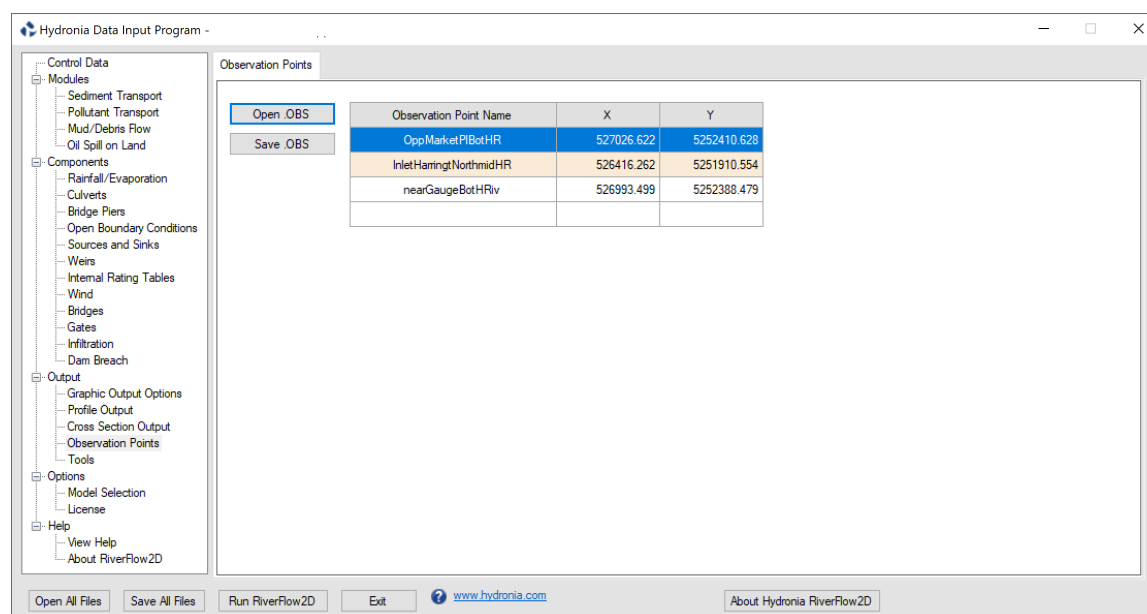
- **X,Y:** Coordenadas del centroide de la pila.
- **Angle X:** Ángulo de la pila con respecto al eje X.
- **Length:** Longitud de la pila (m o ft).
- **Width:** Anchura de la pila (m o ft).
- **Drag Coeff.:** Coeficiente de arrastre de la pila.
- **Pier Name:** Nombre de la pila. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **Open:** Abre un archivo existente.
- **Save:** Guarda únicamente los datos de las pilas del puente en un archivo.

#### Nota

Para simular pilas circulares, utilice la misma anchura y longitud y establezca un coeficiente de arrastre adecuado para pilas redondas.

## 14.15 Panel de *Observation Points* (archivo .OBS)

Utilice este panel para crear, editar y mostrar el contenido del archivo. Para activar este panel, primero seleccione *Observation Points* del grupo *Output* en el panel izquierdo de DIP.



**Figura 14.17** – Panel de Observation Points.

- **Observation Point Name:** Nombre del punto de observación. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **X,Y:** Coordenadas del punto.
- **Open:** Abre un archivo existente.
- **Save:** Guarda únicamente los datos del punto de observación en un archivo.

## 14.16 Panel de *Tools*

Esta sección describe diversas utilidades disponibles mediante DIP. Para activar este panel, primero seleccione *Tools* del grupo *Output* en el panel izquierdo.



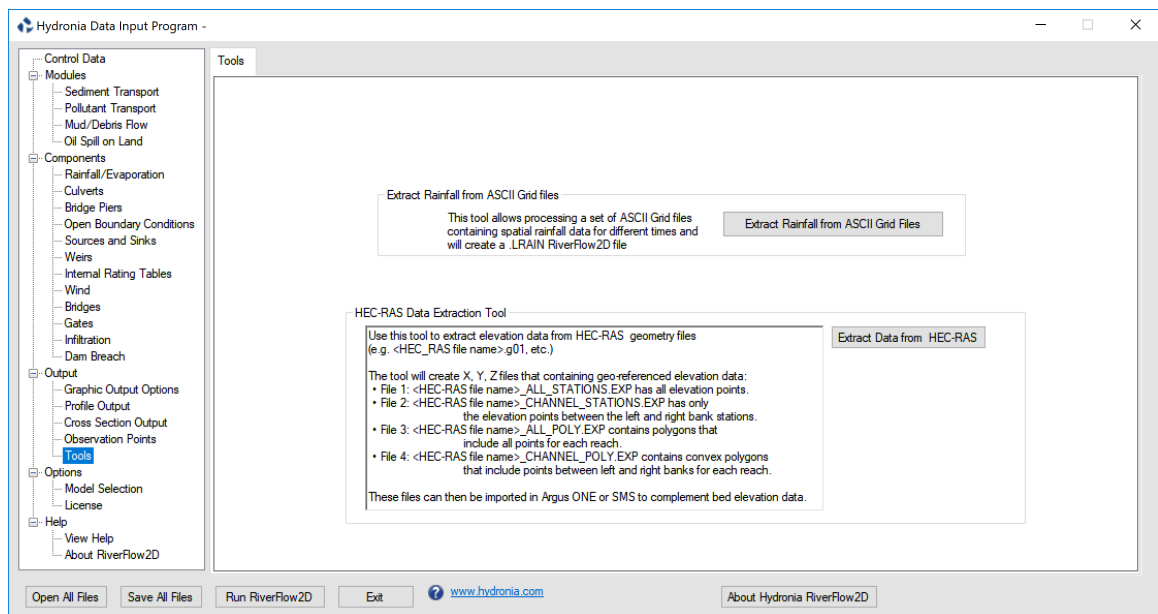


Figura 14.18 – Panel de Tools.

### 14.16.1 Herramienta para procesar datos de lluvia y evaporación de archivos ASCII Grid Files

Puede utilizar esta herramienta para procesar archivos ASCII Grid Files de lluvia (p. ej., NEXRAD) y evaporación con el fin de preparar archivos de datos de RiverFlow2D que puedan utilizarse para simulaciones hidrológicas. El programa le permitirá extraer datos de un conjunto de archivos ASCII grid de lluvia y evaporación puntuales y crear un archivo en el formato legible por RiverFlow2D. Para utilizar la herramienta, primero debe crear un archivo con un editor de texto (p. ej., Notepad) utilizando el siguiente formato:

Línea 1: Número de archivos ASCII de lluvia

**NRF**

Líneas NRF que contienen:

**Ti RAINFILEi.ASC**

Donde Ti es el tiempo en horas y es el archivo ASCII Grid correspondiente a la lluvia en el tiempo Ti.

Opcionalmente, si tiene un conjunto de archivos de evaporación, añada las siguientes líneas:

Número de archivos ASCII de evaporación (debe ser igual a NRF)

**NEV**

Líneas de NEV que contienen:

**Ti EVAPFILEi.ASC**

Donde Ti es el tiempo en horas y corresponde al archivo de cuadrícula ASCII para la evaporación correspondiente al tiempo Ti.

Se supone que en los archivos ASCII de lluvia y evaporación los valores se proporcionan en mm o in. Puesto que RiverFlow2D utiliza intensidades en lugar de mm o in, los valores proporcionados se convertirán internamente a mm/hr o in/hr utilizando el intervalo de tiempo determinado a partir de los tiempos proporcionados en el archivo descrito anteriormente.

Si el número de archivos (NRF) de la primera línea es positivo, se supondrá que la lluvia/evaporación se proporciona en puntos y se interpolará a cada celda. Si el número es negativo, el programa considerará que la lluvia/evaporación se proporciona en cuadrados centrados en cada punto de la cuadrícula, y entonces la precipitación de la celda será la de la cuadrícula donde se encuentra el centroide de la celda. Este último método no implica interpolación y es más rápido que el primero. Una vez creado el archivo y ubicados los archivos en la misma carpeta, utilice el botón *Extract Rainfall from ASCII Grid Files Tool*, seleccione el archivo y haga clic en *Open*.

Espere unos instantes e introduzca el nombre del archivo. El proceso de conversión tardará unos segundos o minutos, dependiendo del número de archivos y de su tamaño.

Para utilizar el archivo .LRAIN resultante, debe copiarlo a la carpeta del proyecto, asegurándose de establecer el mismo nombre de archivo que el de su proyecto. Por ejemplo, si los archivos de su proyecto son Mesh1.dat y Mesh1.fed, asígnele el nombre Mesh1.lrain.

#### 14.16.1.1 Ejemplo de un archivo .RFC solo con lluvia

```
-4
0 rain_spas1275_001_20040917_0100_utc.asc
1 rain_spas1275_002_20040917_0200_utc.asc
2 rain_spas1275_003_20040917_0300_utc.asc
3 rain_spas1275_004_20040917_0400_utc.asc
```

#### 14.16.1.2 Ejemplo de un archivo .RFC con lluvia y evaporación

```
-4
0 rain_spas1275_001_20040917_0100_utc.asc
1 rain_spas1275_002_20040917_0200_utc.asc
2 rain_spas1275_003_20040917_0300_utc.asc
3 rain_spas1275_004_20040917_0400_utc.asc
-4
0 evap_spas1275_001_20040917_0100_utc.asc
1 evap_spas1275_002_20040917_0200_utc.asc
2 evap_spas1275_003_20040917_0300_utc.asc
3 evap_spas1275_004_20040917_0400_utc.asc
```

### 14.16.2 Herramienta de extracción de datos de HEC-RAS

El propósito de esta herramienta es facilitar la migración de proyectos existentes de HEC-RAS a RiverFlow2D. El programa permite extraer datos de elevación de puntos de secciones transversales georreferenciadas del modelo unidimensional de HEC-RAS desarrollado por USACE. La herramienta lee archivos de geometría de HEC-RAS con extensión .g01, .g02, etc., y crea archivos X Y Z que se pueden importar fácilmente en QGIS. La utilidad discrimina las elevaciones en el canal entre la margen izquierda y la margen derecha de cada sección transversal y exporta los archivos como se detalla en la siguiente tabla.

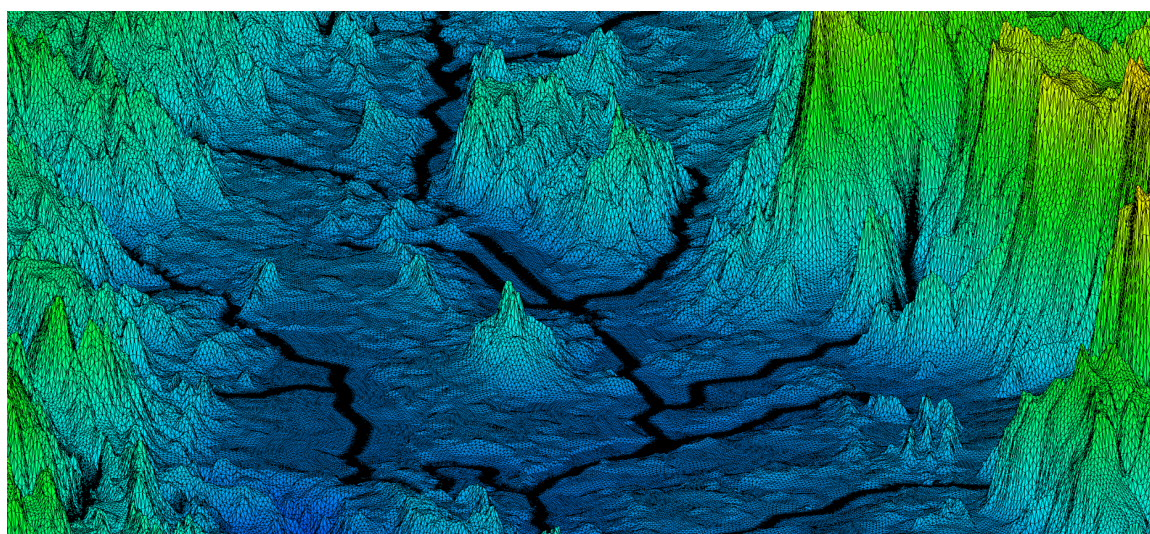
| Nombre del archivo                         | Descripción                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <HEC-RAS file name>_ALL_STATIONS.EXP       | Contiene los puntos de elevación de todas las secciones transversales para todos los tramos y secciones transversales del archivo <HEC-RAS file name>.g0?.              |
| <HEC-RAS file name>_ALL_POLYEXP            | Contiene polígonos que incluyen todos los puntos de elevación de cada tramo.                                                                                            |
| <HEC-RAS file name>h0_CHANNEL_STATIONS.EXP | Contiene los puntos de elevación entre las márgenes izquierda y derecha en todas las secciones transversales para todos los tramos del archivo <HEC-RAS file name>.g0?. |
| <HEC-RAS file name>_CHANNEL_POLYEXP        | Contiene polígonos que incluyen únicamente la elevación en el canal principal de cada tramo.                                                                            |

# 15

## Referencia del archivo de datos

Archivos de datos para la información no espacial necesaria para ejecutar RiverFlow2D. Todos los archivos de datos de entrada de RiverFlow2D están en formato ASCII de formato libre, que puede abrirse con cualquier editor de texto o programa de hojas de cálculo. En algunos casos puede ser conveniente editar directamente los datos. Sin embargo, se recomienda editar los archivos con extrema precaución y solo después de haber adquirido un conocimiento profundo de los formatos de archivo de RiverFlow2D. Esta sección explica los archivos de datos de entrada y los parámetros incluidos en cada archivo.

El programa de instalación de RiverFlow2D crea una carpeta con varios proyectos de ejemplo que pueden consultarse para revisar los archivos de datos del modelo. Según el sistema operativo y la configuración, esta carpeta puede encontrarse en ...\\ Documents\\RiverFlow2D\_QGIS\\ExampleProjects.



**Figura 15.1** – Ejemplo de una malla de RiverFlow2D.

Los archivos de datos de RiverFlow2D compartirán el mismo nombre y utilizarán las extensiones de archivo indicadas en la tabla siguiente. Por ejemplo, una ejecución denominada Run1 tendrá los siguientes archivos: , , etc. La tabla siguiente resume los archivos de datos utilizados por el modelo RiverFlow2D.

### Nota

La columna DEPENDENCIES de la tabla indica todos los archivos obligatorios y opcionales según las opciones seleccionadas. Puede utilizar esta información para seleccionar los archivos que deben transferirse a otro equipo que realizará las simulaciones o a una máquina virtual en un servicio en la nube.

- **Archivo de proyecto de QGIS:** Obligatorio al utilizar RiverFlow2D; este es el archivo de proyecto donde QGIS almacena todos los datos espaciales utilizados en el proyecto, incluida la malla de celdas triangulares.
- **Datos de elevación:** cualquiera; Obligatorio; Puntos de datos de elevación dispersos.
- **Datos de malla de celdas triangulares:** Obligatorio; Coordenadas y elevaciones de los nodos, topología de la malla triangular, tipo y nombres de archivo de las condiciones de contorno, elevaciones iniciales del agua y coeficientes de Manning's n.
- **Nodos del límite de la malla:** Archivo interno; Lista de nodos de los límites exteriores y de las islas. RiverFlow2D genera internamente este archivo.
- **Condiciones de contorno de I/O:** Archivo interno; Lista de nodos de los límites exteriores y condiciones de entrada y salida. RiverFlow2D genera internamente este archivo.
- **Archivo nodal de condiciones de contorno:** Obligatorio; Lista de condiciones de contorno externas. Para cada límite, contiene la lista de nodos y el archivo de datos asociado. Tenga en cuenta que todos los archivos enumerados en su interior son necesarios para ejecutar el modelo y deben residir en la misma carpeta. RiverFlow2D ahora genera internamente este archivo basándose en la información del archivo.
- **Datos de control de la ejecución:** .DAT; Obligatorio; Opciones generales de control de la ejecución, incluido el paso de tiempo, el tiempo de simulación, las unidades métricas o inglesas, las opciones de salida gráfica, las condiciones iniciales, los componentes, etc.
- **Opciones de trazado de resultados:** Opcional; Opciones de salida gráfica.
- **Datos de puntos de observación:** Opcional; Ubicación de los puntos de observación donde el modelo informará las series temporales de resultados.
- **Salida de secciones transversales:** Opcional; Lista de secciones transversales cuyos resultados producirá el modelo. Cada sección transversal se define mediante las coordenadas de sus dos puntos extremos.
- **Salida de perfiles:** Opcional; Corte de perfil de la malla donde se desean resultados.

- **Archivos de series temporales o tablas de relación para las condiciones de contorno de entrada o salida:** definido por el usuario; Obligatorio; Hidrograma, elevaciones de la superficie del agua frente al tiempo, etc. El modelo requiere un archivo para cada condición de contorno abierta, excepto los tipos de condición de contorno “free”.
- **Concentración inicial de cada contaminante:** Obligatorio al utilizar el módulo Pollutant Transport.; Define las concentraciones iniciales sobre la malla.
- **Bridges:** Obligatorio al utilizar el componente Bridges.; El archivo de geometría de la sección transversal del puente se utiliza para calcular las pérdidas de energía.
- **Culverts:** Obligatorio al utilizar el componente Culvert.; Ubicación de las alcantarillas y archivos de datos asociados de las alcantarillas.
- **Dam Breach:** Obligatorio al utilizar el componente Dam Breach.; Ubicación y datos de la brecha de la presa.
- **Gates:** Obligatorio al utilizar el componente Gates.; Ubicación de las compuertas y archivos de datos asociados de apertura de las compuertas.
- **Infiltration:** Obligatorio al utilizar el componente Infiltration.; Archivo de datos de parámetros de infiltración.
- **Tablas de relación internas:** Obligatorio al utilizar el componente Internal Rating Table.; Datos para imponer tablas de relación de caudal a lo largo de los límites internos.
- **Manning’s n variable con la profundidad:** Obligatorio al utilizar Manning’s n variable con la profundidad.; Proporciona los parámetros necesarios para tener en cuenta el coeficiente de rugosidad Manning’s n que varía con la profundidad según una tabla proporcionada por el usuario. Creado a partir de polígonos de la capa ManningsNz.
- **Pilares de puente:** Se selecciona el componente Piers; Datos de pilares de puente utilizados para calcular las fuerzas de arrastre de los pilares.
- **Rainfall/Evaporation:** Obligatorio al utilizar el componente Rainfall/Evaporation.; Series temporales de precipitación y evaporación.
- **Fuentes y sumideros:** Obligatorio al utilizar el componente Sources.; Este archivo contiene la ubicación de las fuentes de caudal de entrada o los sumideros de caudal de salida, y los archivos de series temporales de datos de caudal asociados.
- **Vertederos:** Obligatorio al utilizar el componente Weir.; Este archivo contiene las polilíneas de los vertederos y los datos asociados de los vertederos.
- **Wind:** Obligatorio al utilizar el componente Wind.; Este archivo contiene datos específicos de densidad y velocidad del viento.
- **Bridge Scour:** Obligatorio para calcular la socavación de pilares o estribos de puentes.; Este archivo contiene los parámetros de pilares y estribos necesarios para calcular la socavación.
- **Mud/Tailings Flow:** Obligatorio al utilizar el módulo Mud/Tailings Flow.; Proporciona los parámetros necesarios para modelar el flujo de lodos y relaves.

- **Derrames de petróleo en tierra:** Obligatorio al utilizar el modelo OilFlow2D para simular derrames sobre tierra.; Proporciona los parámetros necesarios para modelar derrames de petróleo sobre tierra.
- **Derrames de petróleo en agua:** Obligatorio al utilizar el modelo OilFlow2D para simular derrames de petróleo sobre el agua.; Proporciona los parámetros necesarios para modelar derrames de petróleo sobre el agua.
- **Transporte de contaminantes:** Obligatorio al utilizar el módulo Pollutant Transport.; Datos para contaminantes pasivos o reactivos.
- **Transporte de sedimentos de fondo:** Obligatorio al utilizar el módulo Sediment transport.; Datos del transporte de sedimentos de fondo.
- **Transporte de sedimentos en suspensión:** Obligatorio al utilizar el módulo Sediment transport.; Datos del transporte de sedimentos en suspensión.
- **Water Quality:** Obligatorio al utilizar Water Quality.; Parámetros de calidad del agua.

## 15.1 Datos de control de la ejecución

### 15.1.1 Archivo de datos de control de la ejecución: .DAT

Este archivo contiene parámetros para controlar la ejecución del modelo, incluidos el paso de tiempo, el tiempo de simulación, las unidades métricas o inglesas, los interruptores de procesos físicos o componentes, y las opciones de salida gráfica y condiciones iniciales. Línea 1: Número de versión interna del programa. **RELEASE** Línea 2: Interruptor de selección del modelo. **IMS** Línea 3: Interruptores de procesos físicos o componentes. **IRAIN ISED IPIERS IWEIRS ICULVERTS ISOURCES IINTRC IBRIDGES IGATES IDAMS ISWMM** Línea 4: Interruptor del método de lecho húmedo-seco. **IWETDRY** Línea 5: Interruptores de control de salida. **IEXTREMES IXSEC IPROFILE NOGRAPH IOBS** Línea 6: Datos de control temporal. **DUMMY CFL DUMMY TOUT TLIMIT** Línea 7: Interruptores de control de condiciones iniciales y arranque en caliente. **IINITIAL IHOT-START** Línea 8: Interruptor de Manning's n variable con la profundidad. **IMANN** Línea 9: Factor de multiplicación global del valor de Manning's n. **XNMAN** Línea 10: Interruptor de informe del balance de masas. **IMASSBAL** Línea 11: Interruptor de definición del sistema de unidades. **NUNITS** Línea 12: Profundidad mínima de flujo para áreas secas. **HMIN** Línea 13: Elevación inicial de la superficie del agua. **INITIAL\_WSE** Línea 14: Interruptor de los modelos de transporte de contaminantes / Water Quality. **IPOLLUTANT** Línea 15: Interruptor del esfuerzo del viento. **IWIND** Línea 16: Interruptor de los modelos de flujo de lodos/relaves y derrames de petróleo. **IMDOIL** Línea 17: Número de núcleos o ID de GPU. **IDGPU** Línea 18: Interfaz gráfica de usuario que creó los archivos. **IGUI** Línea 19: Componentes adicionales. **ISCOUR IMULTSOURCES IHAZARD HARRIVAL FUTURE5 FUTURE6 FUTURE7 FUTURE8 FUTURE9 FUTURE10**

#### 15.1.1.1 Ejemplo de archivo .DAT

201905

1

0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0

2

0 0 0 0 0

0 0.5 0.25 0.25 8

1 0

1

1

0.9

1

-1

0

0

0

0

4

2

1 0 0 0.05 0 0 0 0 0 0 0

- **CFL:** R; (0,1]; -; Se aplica a los modelos RiverFlow2D y RiverFlow2D GPU. Número de Courant. El valor predeterminado se establece en 1.0. Puede ser necesario establecer CFL en valores menores si los resultados muestran signos de oscilaciones inesperadas.
- **DUMMY:** R; -; -; Parámetro ficticio para uso futuro. Se ignora en RiverFlow2D.
- **HMIN:** R;  $-1$  o  $> 0$ ; m/ft; En RiverFlow2D, HMIN es el límite de profundidad para el cálculo seco-húmedo. Si la profundidad es menor que HMIN, la velocidad de la celda se establecerá en 0. Si HMIN = -1, todas las celdas con una profundidad menor que  $10^{-6}$  m se considerarán secas.
- **HARRIVAL:** R;  $\geq 0$ ; m/ft; El modelo informará el tiempo de llegada de la inundación o de la onda frontal a cada celda cuando la profundidad en la celda alcance HARRIVAL por primera vez durante la simulación.
- **IADDISP:** I; 0,1; -; Interruptor para activar el modelo de transporte de contaminantes.

1. Desactivar los cálculos de transporte de contaminantes.
2. Aplicar el transporte de contaminantes.

- **IBRIDGES:** I; 0,1; -; Interruptor para activar el componente Bridges.

1. Desactivar el componente Bridges.
2. Aplicar el componente Bridges.

Requiere un archivo. Consulte los detalles en la sección *Bridges* de este manual. - **ICULVERTS:** I; 0,1; -; Interruptor que indica si se utilizarán alcantarillas unidimensionales.

1. No se utilizarán alcantarillas.
2. Utilizar alcantarillas.



Requiere un archivo. Consulte los detalles en la sección *Culverts* de este manual. - **IDAMS**: I; 0,1; -; Interruptor para activar el componente Dam Breach.

1. Desactivar el componente Dam Breach.
2. Aplicar el componente Dam Breach.

Requiere un archivo. Consulte los detalles en la sección *Dam Breach* de este manual. - **IDGPU**: I;  $\geq 0$ ; -; RiverFlow2D: Este parámetro indica cuántos procesadores o núcleos se utilizarán en el cálculo paralelo. El número máximo dependerá de las capacidades del procesador. RiverFlow2D GPU: Si su equipo tiene varias tarjetas GPU, este parámetro permite seleccionar qué tarjeta se utilizará para la ejecución. Dado que el modelo permite solo una ejecución simultánea por tarjeta, esta opción permite ejecutar simulaciones simultáneas en tarjetas diferentes. - **IEXTREMES**: I; 0,1; -; Interruptor para informar los valores máximos durante toda la simulación.

1. No informar los valores máximos.
2. Informar los valores máximos.

- **IGATES**: I; 0,1; -; Interruptor para activar el componente Gates.

1. Desactivar el componente Gates.
2. Aplicar el componente Gates.

Requiere un archivo. Consulte los detalles en la sección *Gates* de este manual. - **IGUI**: I; 1, 2; -; Este parámetro indica qué interfaz gráfica de usuario se utilizó para crear los archivos de RiverFlow2D.

1. Aquaveo SMS
2. QGIS

- **IHAZARD**: I; 0,1; -; Interruptor para crear archivos de peligro de inundación.

1. No crea archivos de peligro.
2. El modelo creará los archivos de peligro.

- **IHOTSTART**: I; 0,1; -; Interruptor para iniciar la ejecución desde cero o continuar una simulación anterior.

1. Iniciar la simulación desde el tiempo inicial.
2. Iniciar la simulación desde la ejecución anterior.

- **IINTRC**: I; 0,1; -; Interruptor para las tablas de relación internas.

1. No utilizar el componente de tablas de relación internas.
2. Utilizar tablas de relación internas.

Consulte los detalles en la sección *Internal Rating Tables* de este manual. - **IINITIAL**: I; 0,1,2,-9999; -; Interruptor de condición inicial para las elevaciones de la superficie del agua.

1. Elevación horizontal prescrita de la superficie del agua
2. Lecho seco inicial en toda la malla.

3. Elevaciones iniciales de la superficie del agua leídas del archivo -9999: Asigna una elevación horizontal del agua igual a la elevación máxima del lecho más 0.5 m. (1.64 ft.). Véase el comentario 3.

- **INITIAL\_WSE:** R; -; m/ft; Elevación inicial de la superficie del agua en toda la malla. Esta será la superficie inicial del agua si INITIAL es 0. Véase el comentario 3.
- **IMANN:** I; 1,2; -; Interruptor de Manning's n variable con la profundidad.

1. Manning's n es constante para todas las profundidades.
2. Manning's n puede variar con las profundidades según se define en el archivo.

- **IMASSBAL:** I; 0,1; -; Interruptor del informe de balance de masas. Se utiliza para definir cuándo calcular el balance de masas y crear el archivo.

1. El balance de masas no se calcula en cada paso de tiempo ni se crea.
2. El balance de masas se calcula en cada paso de tiempo y se crea

. Véase el comentario 9. - **IMDOIL:** I; 0-3; -; Interruptor para seleccionar el modelo de lodos/relaves/petróleo.

1. No ejecutar los modelos de lodos/relaves/petróleo.
2. Ejecute el modelo de flujo de lodo/relaves. Requiere archivo. Consulte los detalles en la sección Modelo de flujo de lodo/relaves de este manual.
3. Ejecute el modelo de flujo de derrame de petróleo en tierra. Requiere archivo. Consulte los detalles en la sección Derrames de petróleo en tierra de este manual.
4. Ejecute el modelo de derrame de petróleo en agua. Requiere archivo. Consulte los detalles en la sección Derrames de petróleo en agua de este manual.
5. Ejecute el modelo de flujo de lodo/relaves. Requiere archivo. Consulte los detalles en la sección Modelo de flujo de lodo/relaves de este manual.

- **IMS:** I; 1,2; -; Conmutador del modelo utilizado para seleccionar el motor del modelo hidrodinámico.

1. RiverFlow2D.
2. RiverFlow2D GPU.

- **IMULTSOURCES:** I; 0,1; -; Conmutador utilizado para seleccionar el procesamiento por lotes de múltiples fuentes. Cuando se establece en 1, el modelo creará un subdirectorio (denominado como el ID de la fuente) para cada fuente y realizará ejecuciones independientes en cada subdirectorio.

1. Todas las fuentes se considerarán activas simultáneamente.
2. El modelo realizará tantas ejecuciones como fuentes estén definidas.

- **IOBS:** I; 0,1; -; Conmutador para generar series temporales de resultados en ubicaciones especificadas definidas mediante coordenadas.

1. No generar informes sobre puntos de observación.
2. Generar informes sobre puntos de observación.

Requiere archivo. Consulte los detalles en la sección *Puntos de observación* de este manual. - **IPIERS**: I; 0,1; -; Conmutador para permitir tener en cuenta la fuerza de arrastre de los pilares.

1. No utilizar la opción de fuerza de arrastre de los pilares.
2. Utilizar la opción de fuerza de arrastre de los pilares.

Requiere archivo. Esta opción puede utilizarse si la malla no tiene en cuenta la geometría de los pilares. Consulte los detalles en la *Sección de pilares de puente* de este manual. - **IPOLLUTANT**: I; 0,1, 2; -; Conmutador para seleccionar el modelo de contaminantes.

1. No ejecutar modelos de transporte de contaminantes.
2. Ejecutar el modelo de advección-dispersión-reacción del transporte de contaminantes. Requiere archivo.
3. Ejecutar el modelo de calidad del agua. Requiere archivo.

Consulte los detalles en la sección *Modelos de transporte de contaminantes y calidad del agua* de este manual. - **IPROFILE**: I; 0,1; -; Conmutador para controlar la salida de perfiles.

1. No generar resultados de perfiles.
2. Los resultados se generarán a lo largo de un perfil prescrito.

Requiere archivo. Véase el comentario 4. - **IRAIN**: I; 0-4; -; Conmutador para la entrada de lluvia y evaporación.

1. No realizar modelado de lluvia.
2. No se utiliza.
3. Lluvia/evaporación.
4. Infiltración.
5. Lluvia/evaporación e infiltración.

- **ISED**: I; 0,1; -; Conmutador de transporte de sedimentos.

1. No realizar modelado de transporte de sedimentos.
2. Se simularán el transporte de sedimentos, la erosión del lecho móvil y la deposición. Requiere o archivos.

Consulte los detalles en la sección *Transporte de sedimentos* de este manual. - **ISCOUR**: I; 0,1; -; Conmutador para los cálculos de socavación.

1. Desactivar el cálculo de socavación alrededor de pilares y estribos.
2. Calcular la socavación alrededor de pilares o estribos de puentes. Requiere archivo.

- **ISOURCES**: I; 0,1; -; Conmutador para fuentes y sumideros.

1. No hay fuentes ni sumideros presentes.
2. Hay fuentes o sumideros presentes. Requiere archivo.
3. Hay fuentes o sumideros presentes, pero cada fuente se resolverá como un escenario independiente en diferentes subdirectorios denominados según el ID de cada fuente. Requiere archivo.

Consulte los detalles en la sección *Fuentes* de este manual. - **ISWMM**: I; 0,1; -; Conmutador para enlazar con el modelo EPA-SWMM.

1. Desactivar el enlace con el modelo EPA-SWMM.
2. Calcular el flujo de agua superficial y la interacción con desagües pluviales con el modelo EPA-SWMM. Requiere archivo y un archivo de modelo SWMM compatible.

- **IWEIRS**: I; 0,1; -; Conmutador para el cálculo de vertederos en límites internos.

1. No utilizar el cálculo de vertederos en límites internos.
2. Utilizar el cálculo de vertederos en límites internos.

Consulte los detalles en la sección *Vertederos* de este manual. - **IWIND**: I; 0,1; -; Conmutador para tener en cuenta el esfuerzo del viento en la superficie del agua.

1. No considerar el esfuerzo del viento.
2. Considerar el esfuerzo del viento. Requiere archivo.

Consulte los detalles en la sección *Esfuerzo del viento* de este manual. - **IXSEC**: I; 0,1; -; Conmutador de salida de secciones transversales.

1. No generar resultados de secciones transversales.
2. Los resultados de secciones transversales se generarán en un archivo. Requiere archivo. Véase el comentario 5.

- **NOGRAPH**: I; 0,4; -; Variable para controlar el cierre automático de la ventana de supervisión de la ejecución del modelo.

1. La ventana permanecerá abierta hasta que el usuario haga clic en el botón de cierre.
2. Las ventanas del modelo se cerrarán automáticamente en cuanto finalice la ejecución.

- **NUNITS**: I; 0,1; -; Variable para indicar el sistema de unidades:

1. Unidades métricas.
2. Unidades inglesas.

- **RELEASE**: I; -; -; ID del número de versión utilizado internamente como referencia. No debe modificarse.
- **TLIMIT**: R; > 0; h.; Tiempo total de simulación.
- **TOUT**: R;  $\leq TLIMIT$ ; h.; Intervalo de tiempo de salida para informar los resultados.
- **XNMAN**: R; [0.1-2]; -; Multiplicador del coeficiente n de Manning. Véase el comentario 6.

### 15.1.1.2 Comentarios para el archivo .DAT

1. Establecer el CFL (Courant Friederich-Lewy) o número de Courant es fundamental para lograr una estabilidad adecuada y garantizar la conservación de la masa. El esquema de tiempo explícito de RiverFlow2D es condicionalmente estable, lo que significa que existe un paso de tiempo máximo por encima del cual las simulaciones se volverán inestables. Este umbral puede aproximarse teóricamente mediante una condición de Courant-Frederick-Lewy definida de la siguiente manera:

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

donde  $\Delta t = DT$  es el paso de tiempo,  $\Delta x$  es una medida del tamaño mínimo de celda triangular,  $g$  es la aceleración de la gravedad y  $h$  es la profundidad del flujo. Puede ocurrir que durante las etapas iniciales de un hidrograma las velocidades sean pequeñas y el paso de tiempo seleccionado sea adecuado. Sin embargo, durante la simulación, las velocidades y la profundidad del flujo pueden aumentar, provocando que se supere la condición de estabilidad. En esos casos será necesario volver a ejecutar el modelo con un CFL menor. Como alternativa, puede utilizarse la opción de paso de tiempo variable.

2. Para las simulaciones con paso de tiempo variable, RiverFlow2D estima el DT máximo utilizando la condición teórica de Courant-Frederick-Lewy (CFL). En ocasiones, el DT estimado puede ser demasiado alto, lo que provoca inestabilidades, y puede ser necesario reducir el CFL a un valor menor que uno para ajustarlo. Los valores típicos de CFL varían entre 0.3 y 1, pero pueden variar de un proyecto a otro.
3. Hay tres opciones de condiciones iniciales. Si IINITIAL = 0, la elevación inicial del agua será una superficie horizontal constante a la elevación indicada como INITIAL\_WSE. Si INITIAL\_WSE es = -9999, el programa asignará una elevación constante del agua igual a la elevación de fondo más alta de la malla. Si IINITIAL = 1, toda la malla computacional estará inicialmente seca, excepto en los límites abiertos donde se prescribe el caudal y se supone una profundidad > 0 para el primer paso de tiempo. Si IINITIAL = 2, las elevaciones iniciales de la superficie del agua se leen del archivo de datos para cada nodo de la malla.
4. Utilice la opción IPROFILE para permitir que RiverFlow2D genere resultados a lo largo de una polilínea. La polilínea y los demás datos necesarios deben proporcionarse en el archivo Profiles, que se define más adelante en este documento.
5. Utilice esta opción para permitir que RiverFlow2D genere resultados a lo largo de secciones transversales prescritas. Las secciones transversales y los demás datos necesarios deben proporcionarse en el archivo Cross Section, que se define más adelante en este documento.
6. Utilice la opción XNMAN para probar la sensibilidad del valor n de Manning en los resultados. El coeficiente de Manning prescrito asignado a cada celda se multiplicará por XNMAN. Esta opción es útil para probar la sensibilidad del modelo al valor n de Manning durante la calibración del modelo.
7. El modelo creará archivos de salida con los valores máximos de cada variable de salida.
8. El usuario puede especificar una elevación inicial de la superficie del agua estableciendo IINITIAL = 0 e introduciendo INITIAL\_WSE.
9. El usuario puede seleccionar si el modelo calculará el balance de masa o no. Esto tiene implicaciones particularmente en el modelo GPU, ya que los cálculos del balance de masa se realizan en la CPU, con la sobrecarga de rendimiento resultante y el aumento del tiempo de ejecución. Es posible que desee activarlo para revisar cómo el modelo conserva el volumen o la masa. Una vez comprobado, se recomienda desactivarlo para obtener el máximo rendimiento.

## 15.2 Datos de la malla

### 15.2.1 Archivo de datos de la malla: .FED

Este archivo contiene los datos que definen la malla de celdas triangulares e incluye las coordenadas de los nodos, la conectividad de cada celda triangular, las elevaciones de los nodos, los coeficientes  $n$  de Manning y otros parámetros. Este archivo es creado por RiverFlow2D. RiverFlow2D garantiza que el archivo se cree sin errores y sea coherente con las condiciones de contorno y otros parámetros de la malla. Editar este archivo fuera de RiverFlow2D puede introducir errores inesperados. Línea 1: Número de celdas y nodos. **NELEM NNODES DUMMY DUMMY NNODES** líneas que contienen las coordenadas de los nodos y los parámetros de los nodos. **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 las celdas. **IE NODE(IE,1) NODE(IE,2) NODE(IE,3) MANNINGN(IE) ELZB(IE) ELINITWSE(IE) ELMINERODELEV(IE)**

#### 15.2.1.1 Ejemplo de un archivo .FED

```

1965 1048 5 5
1 243401.515 94305.994 51.071 0.000 -9999.000 0 0
2 243424.157 94325.674 49.833 0.000 -9999.000 0 0
3 243446.800 94345.354 49.136 0.000 -9999.000 12 0.025
4 243469.443 94365.034 48.879 0.000 -9999.000 0 0
5 243503.168 94394.347 51.662 0.000 -9999.000 12 0.025

...

1044 243830.638 93310.994 48.603 0.000 -9999.000 6 QIN.DAT
1045 243492.493 93320.046 49.987 0.000 -9999.000 6 QIN.DAT
1046 243693.660 93297.785 47.390 0.000 -9999.000 0 0
1047 243964.332 93388.332 50.843 0.000 -9999.000 0 0
1048 243861.431 93893.192 50.863 0.000 -9999.000 0 0
1 456 987 188 0.035 51.395 0.000 -9999.000 0.000
2 478 183 809 0.035 49.778 0.000 -9999.000 0.000
3 336 37 869 0.035 53.992 0.000 -9999.000 0.000
4 601 393 97 0.035 53.486 0.000 -9999.000 0.000
5 456 509 987 0.035 51.690 0.000 -9999.000 0.000

...

1961 1024 972 23 0.035 47.480 0.000 -9999.000 0.000
1962 930 1028 377 0.035 48.126 0.000 -9999.000 0.000
1963 1028 960 377 0.035 48.385 0.000 -9999.000 0.000
1964 1043 1017 426 0.035 51.994 0.000 -9999.000 0.000
1965 850 78 77 0.035 49.715 0.000 -9999.000 0.000

```

Esta malla tiene 1965 celdas y 1048 nodos.

- **BCTYPE:** I; -; -; Código para indicar el tipo de límite abierto. Consulte más detalles sobre las condiciones de contorno en la descripción del archivo que aparece a continuación.
- **BCFILENAME:** S; < 26; -; Nombre del archivo de condiciones de contorno. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres. Consulte más detalles en la descripción del archivo que aparece a continuación.
- **DUMMY:** I; -; -; Siempre igual a 2.
- **ELINITWSE(IE):** R; -; m or ft; Elevación inicial de la superficie del agua para la celda EL. Utilizada en RiverFlow2D y RiverFlow2D GPU.
- **ELMINERODELEV (IE):** R;  $\geq 0$ ; -; Elevación mínima de erosión permitida en cada celda. Utilizada en RiverFlow2D y RiverFlow2D GPU.
- **ELZB (IE):** R; -; m or ft; Elevación inicial del fondo para la celda EL. Utilizada en RiverFlow2D y RiverFlow2D GPU.
- **INITWSE(IN):** R; -; m or ft; Elevación inicial de la superficie del agua para el nodo IN.
- **IE:** I; > 0; -; Índice de celda. Consecutivo de 1 a NELEM.
- **IN:** I; > 0; -; Número de nodo. Consecutivo de 1 a NNODES.
- **MANNINGN(IE):** R; > 0; -; Valor n de Manning para la celda IE.
- **MINERODELEV (IN):** R;  $\geq 0$ ; m or ft; Elevación mínima de erosión permitida en cada nodo.
- **NELEM:** I; 1-5; -; Número de celdas triangulares.
- **NNODES:** I; > 0; -; Número de nodos.
- **NODE(IE,1), NODE(IE,2), NODE(IE,3):** I; > 0; -; Números de nodo para la celda IE, indicados en sentido antihorario.
- **X(IN):** R; -; m or ft; Coordenada X para el nodo IN.
- **Y(IN):** R; -; m or ft; Coordenada Y para el nodo IN.
- **ZB (IN):** R; -; m or ft; Elevación inicial del fondo para el nodo IN.

## 15.2.2 Archivos de datos de condiciones de contorno abiertas: .IFL y .OBCP

Estos archivos contienen datos de condiciones de contorno utilizados únicamente internamente por el modelo. Ambos archivos son generados internamente por RiverFlow2D. El formato del archivo es el siguiente Línea 1: Número de nodos en el límite externo. **NNODESBOUNDARY** NNODESBOUNDARY líneas que contienen los datos de las condiciones de contorno externas. **NODE BCTYPE BCFILENAME**

### 15.2.2.1 Ejemplo de un archivo .IFL

```
1165
365 1 WSE97out.TXT
367 1 WSE97out.TXT
431 1 WSE97out.TXT
```

Este archivo tiene 1165 nodos en el límite. El nodo 365 tiene un BCTYPE=1 (Water Surface Elevation) y la serie temporal de elevaciones de la superficie del agua frente al tiempo se encuentra en el archivo . El formato del archivo es el siguiente Línea 1: Número de límites abiertos de entrada

y salida. **NOB** Grupos de líneas NOB que contienen los siguientes datos. **BCTYPE BCFILE-NAME NNODESBOUNDARYI** Líneas NNODESBOUNDARYI que contienen la lista de nodos de este límite. **NODE(I)**

### 15.2.2.2 Ejemplo de un archivo .OBCEP

```

2
12
UNIF1.DATP
24
2916
...
3299

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

```

Este archivo tiene 2 límites abiertos. El primer límite abierto es BCTYPE=12, correspondiente a una salida de flujo uniforme. La tabla WSE frente a caudal de flujo uniforme está incluida en el archivo , y hay 24 nodos en el límite. El segundo límite abierto es BCTYPE = 6, correspondiente a un hidrograma de entrada en el que la tabla de caudal frente a tiempo se proporciona en el archivo , y hay 17 nodos en el límite.

- **BCTYPE:** I; -; -; Código que indica el tipo de límite abierto. Véanse la tabla y el comentario 1.
- **BCFILENAME:** S; < 26; -; Nombre del archivo de condición de contorno. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres. Véanse los comentarios 2 y 3.
- **NOB:** I; -; -; Número de límites abiertos de entrada o salida.
- **NODE:** I; -; -; Número de nodo.
- **NNODESBOUNDARYI:** I; -; -; Número de nodos en el límite abierto I.
- **NNODESBOUNDARY:** I; -; -; Número total de nodos en el límite.

lp9.9cm

- **0:** Límite cerrado impermeable. Se impone una condición de contorno de deslizamiento (sin flujo normal). Véase el comentario 5.
- **1:** Impone la elevación de la superficie del agua. Debe proporcionarse un archivo de condición de contorno asociado. Véanse los comentarios 2 y 4.
- **6:** Impone el caudal de agua. Debe proporcionarse un archivo de condición de contorno asociado. Véase el comentario 2.



- **9:** Impone una tabla de relación nivel-caudal de valor único. Debe proporcionarse un archivo de condición de contorno asociado. Véase el comentario 6.
- **10:** Condición de entrada o salida de flujo libre". El modelo calcula las velocidades y las elevaciones de la superficie del agua. Véase el comentario 7.
- **11:** Condición de salida de flujo libre". El modelo calcula las velocidades y las elevaciones de la superficie del agua. Solo se permite el flujo hacia el exterior. Véase el comentario 7.
- **12:** Condición de salida de flujo uniforme. Véase el comentario 10.
- **13-16:** Para uso futuro.
- **17:** Impone la elevación de la superficie del agua. Esta condición es similar a BCTYPE 1, pero fuerza la velocidad perpendicular a la línea de entrada. Debe proporcionarse un archivo de condición de contorno asociado. Véanse los comentarios 2 y 4.
- **19:** Impone una tabla de relación nivel-caudal de valor único a lo largo de una polilínea interna. Debe proporcionarse un archivo de condición de contorno asociado. Véase el comentario 8.
- **26:** Impone series temporales de caudal de agua y caudal de sedimentos. Debe proporcionarse un archivo de condición de contorno asociado. Véase el comentario 9.

### 15.2.2.3 Comentarios para los archivos .IFL y .OBCP

1. RiverFlow2D permite tener cualquier número de límites de entrada y salida con diversas combinaciones de condiciones impuestas. El uso correcto de estas condiciones es un componente crítico de una simulación exitosa de RiverFlow2D. Teóricamente, para un flujo subcrítico se requiere proporcionar al menos una condición en los límites de entrada y una en los límites de salida. Para un flujo supercrítico, todas las condiciones deben imponerse en los límites de entrada y «ninguna» en los límites de salida. La tabla ayuda a determinar qué condiciones utilizar para la mayoría de las aplicaciones.

- **Subcrítico:** Q o velocidad; elevación de la superficie del agua
- **Supercrítico:** Q y WSE; libre

#### Nota

Se recomienda tener al menos un límite donde se prescriba WSE o nivel-caudal. Tener únicamente el caudal y ninguna WSE puede provocar imprecisiones debido a la violación de los requisitos teóricos de las condiciones de contorno de las ecuaciones de aguas someras.

2. Al imponer una sola variable (elevación de la superficie del agua o caudal Q), el usuario debe proporcionar un archivo ASCII con la serie temporal de la variable correspondiente. Véase la sección Archivos de datos de condiciones de contorno para obtener detalles sobre el formato de los archivos de condiciones de contorno de una variable.
3. Al imponer dos variables (elevación de la superficie del agua y caudal Q, etc.), es necesario proporcionar un archivo ASCII con las series temporales de las variables. Véase la sección Archivos de datos de condiciones de contorno para obtener detalles sobre el formato de los archivos de condiciones de contorno de dos variables.

4. Al imponer la elevación de la superficie del agua, es importante comprobar que el valor impuesto sea mayor que la elevación del lecho. Aunque RiverFlow2D puede ejecutarse con esa condición, podría provocar errores de conservación del volumen.
5. De forma predeterminada, se impone una condición de contorno cerrada en todos los nodos del límite. En este caso, el modelo calcula las velocidades y las elevaciones de la superficie del agua para todos los nodos del límite en función del valor del parámetro ISLIPBC. Por ejemplo, ISLIPBC = 1 impondrá condiciones de deslizamiento estableciendo un flujo nulo a través del límite. El flujo tangencial es libre, lo que corresponde a una condición de deslizamiento.
6. Al utilizar una condición nivel-caudal de valor único, el modelo primero calcula el caudal en el límite, luego interpola la elevación correspondiente de la superficie del agua a partir de la tabla de relación e impone ese valor para el siguiente paso temporal. Si el límite está seco, funciona como un límite con condición libre (véase el comentario 7). Las elevaciones de la superficie del agua se imponen únicamente en los nodos mojados. Esta condición requiere proporcionar un archivo ASCII con las entradas de valores de la tabla. Véase la sección Archivos de datos de condiciones de contorno para obtener detalles sobre el formato del archivo. En general, es preferible utilizar un hidrograma de nivel en lugar de una condición nivel-caudal. En la mayoría de los ríos de baja pendiente, la relación nivel-caudal está afectada por la histéresis. En otras palabras, la curva nivel-caudal forma un bucle, con caudales mayores en la rama ascendente que en la rama de descenso del hidrograma. Esto se debe principalmente al gradiente de profundidad en la dirección del flujo, que cambia de signo a lo largo del hidrograma. En la práctica, esto implica que puede haber dos niveles posibles para el mismo caudal. Si la relación nivel-caudal no se conoce bien o si simplemente se calcula suponiendo un flujo uniforme en régimen permanente, puede conducir a errores considerables cuando se utiliza como condición de contorno aguas abajo. Por eso se suele preferir utilizar el hidrograma de nivel para ese propósito. Sin embargo, dicho hidrograma puede no estar disponible para estudiar cambios en el río y evaluar las condiciones propuestas. En esos casos, resulta útil utilizar una relación nivel-caudal, preferiblemente medida en un intervalo extenso de caudales. Cuando esta relación no está disponible, una opción sería suponer un flujo en régimen permanente para determinar una curva de relación de valor único. Dado que esta condición puede generar una reflexión de onda que se propaga aguas arriba, es importante ubicar el límite aguas abajo en un tramo suficientemente alejado del área de interés, minimizando así los efectos artificiales de remanso. Desafortunadamente, no existe una forma general de seleccionar dicho lugar, pero será necesario experimentar numéricamente con el modelo real para lograr una ubicación razonable.

**Nota**

Las relaciones nivel-caudal en bucle no están implementadas en esta versión de RiverFlow2D.

7. En los límites con condición de salida libre, el modelo calcula las velocidades y las elevaciones de la superficie del agua aplicando las ecuaciones completas de las celdas internas. No se

imponen *per se* valores específicos de velocidades o profundidades en estos nodos. En la práctica, esto equivale a suponer que las derivadas de las elevaciones de la superficie del agua y de las velocidades son 0. En situaciones de flujo subcrítico, es aconsejable utilizar esta condición cuando haya al menos otro límite abierto donde se imponga WSE o nivel-caudal.

8. Al utilizar una condición nivel-caudal de valor único en secciones internas, el modelo primero calcula el caudal a través del límite, luego interpola la elevación correspondiente de la superficie del agua a partir de la tabla de relación e impone ese valor para el siguiente paso temporal en todos los nodos del límite interno. Esta condición requiere proporcionar un archivo ASCII con las entradas de valores de la tabla. Véase la sección *Archivos de datos de condiciones de contorno* para obtener detalles sobre el formato del archivo.
9. Al imponer un caudal de agua y sedimentos, es necesario proporcionar un archivo ASCII con las series temporales del caudal de agua y del caudal volumétrico de sedimentos para cada una de las fracciones. Tenga en cuenta que el caudal de sedimentos siempre se espera en volumen por unidad de tiempo. Véase la sección *Archivos de datos de condiciones de contorno* para obtener detalles sobre el formato de los archivos de condiciones de contorno de múltiples variables.
10. El usuario debe proporcionar un archivo con la pendiente de energía  $S_0$  para el límite correspondiente. Este archivo solo contendrá un único valor  $S_0$ . El modelo utilizará  $S_0$ , el valor  $n$  de Manning y el caudal para crear una tabla de relación a partir de la cual se impondrán las elevaciones de la superficie del agua en función del caudal de salida calculado. La tabla de relación se calcula cada 0.05 m (0.16 ft.) empezando por la elevación más baja del lecho en la sección transversal de salida hasta 50 m (164 ft.) por encima de la elevación más alta del lecho en la sección. Si  $S_0 = -999$ , el modelo calculará la pendiente media del lecho perpendicular a la línea de límite. Tenga en cuenta que, al dejar que el modelo calcule la pendiente media del lecho, utiliza las elevaciones de las celdas adyacentes a la línea de límite, lo que puede dar lugar a pendientes adversas o a pendientes que no capturen la tendencia general del tramo.
11. Esta condición de contorno es similar a BCTYPE = 6 para el caudal de agua de entrada. Sin embargo, en este caso, en lugar de convertir el caudal en velocidades que se imponen en todos los nodos de entrada, el modelo crea fuentes en todas las celdas adyacentes a la línea de límite. La condición puede visualizarse entonces como si el caudal dado entrara a través de las celdas de entrada. Para cada instante, el modelo divide uniformemente el caudal entre todas las celdas de entrada. Por ejemplo, si hay  $N_e$  celdas de entrada y el caudal impuesto es  $Q_{in}$ , cada celda recibirá un caudal igual a  $Q_{in}/N_e$ . El volumen de agua fluirá naturalmente alejándose de la entrada en función de las pendientes del lecho, etc. Se debe tener cuidado cuando las celdas de límite de entrada tengan elevaciones del lecho inferiores a las celdas circundantes. Al imponer esta condición, el usuario debe proporcionar un archivo ASCII con la serie temporal del caudal. Véase la sección *Archivos de datos de condiciones de contorno* para obtener detalles sobre el formato de los archivos de condiciones de contorno de una variable.

### 15.2.3 Archivo de datos del límite de la malla: .TBA

El archivo se utiliza internamente por el modelo y contiene la lista de nodos del límite en orden antihorario para el polígono del límite externo y en orden horario para los límites internos. **Este archivo es generado internamente por RiverFlow2D.** Línea 1: Indicador de inicio del límite. **IBOUNDARYID** Línea 2: Número de nodos en el límite externo de la malla. **NNODESBOUNDARY** Líneas **NNODESBOUNDARY** que contienen la lista de nodos del límite en dirección antihoraria. **BOUNDARYNODE (1:NNODESBOUNDARY)** Las líneas siguientes solo se utilizan si hay islas en la malla. Para cada isla: Indicador de inicio del parámetro de límite para cada isla o contorno cerrado interno. **IBOUNDARYID** Número de nodos en el límite de la isla. **NNODESISLANDBOUNDARY** Líneas **NNODESISLANDBOUNDARY** que contienen la lista de nodos del límite en dirección horaria. **ISLANDBOUNDARYNODE (1:NNODESISLANDBOUNDARY)**

#### 15.2.3.1 Ejemplo de un archivo .TBA

```
-9999
 132
   1
   2
   3
 173
...
 224
 175
   1
-9999
  34
   5
...
   5
```

En este ejemplo, el contorno externo tiene 132 nodos y hay una isla con 34 nodos.

- **IBOUNDARYID:** I; -9999; -; Siempre = -9999. Este valor se utiliza para indicar el inicio 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. Véanse los 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.

#### 15.2.3.2 Comentarios para el archivo .TBA

1. Debe haber un único polígono de contorno externo y cualquier número de islas internas o contornos cerrados.

2. El contorno externo también debe ser el primero en el archivo. El primer contorno siempre debe ser el externo. Los contornos internos, como islas, pilas, etc., deben seguir al polígono del dominio externo.

## 15.3 Puentes

RiverFlow2D proporciona cuatro opciones para tener en cuenta las pilas de los puentes. La opción más común consiste en crear la geometría en planta de las pilas, generando una malla de celdas triangulares 2D que representa cada pila como un obstáculo sólido. En ese caso, el modelo calculará el flujo alrededor de la pila y tendrá en cuenta la resistencia de la pila. Este sería el enfoque preferido cuando el usuario necesita conocer el flujo detallado alrededor de las pilas y el flujo no sobrepasa el tablero del puente. Sin embargo, la malla resultante puede tener celdas muy pequeñas, lo que provoca un aumento de los tiempos de cálculo.

La segunda opción (*Bridge Piers*) es una formulación simplificada que no requiere definir la malla alrededor de las pilas, pero calculará la fuerza de resistencia de las pilas basándose en datos geométricos. Este sería el enfoque preferido cuando el flujo no sobrepasa el tablero del puente y el usuario no necesita una representación detallada del flujo alrededor de las pilas, pero sí necesita tener en cuenta el efecto general que la pila tendría sobre el flujo.

La tercera opción, representada en el componente *Bridges*, es una herramienta integral de cálculo de la hidráulica de puentes que no requiere representar en detalle la geometría en planta de las pilas del puente, lo que permite pasos de tiempo más largos, y que permite calcular la hidráulica del puente teniendo en cuenta una alineación en planta arbitraria, una geometría compleja del puente, flujo con superficie libre, flujo a presión, sobrepaso, flujo a presión y sobrepaso combinados, y sumersión, todo ello en 2D. Esta es la opción recomendada para la mayoría de los puentes.

Existe una cuarta opción que utiliza el componente *Internal Rating Table*, pero para la mayoría de las aplicaciones se recomienda utilizar una de las opciones anteriores, ya que representan mejor la hidráulica del puente.

### 15.3.1 Archivo de datos de puentes: .BRIDGES

Este componente requiere el archivo de datos que el modelo genera internamente basándose en la representación geométrica introducida en RiverFlow2D. El archivo tiene el siguiente formato: Línea 1: Número de puentes. **NUMBEROFBRIDGES** Líneas **NUMBEROFBRIDGES** que contienen los datos de cada puente. Id. del puente. **BRIDGE\_ID** Nombre del archivo de geometría de la sección transversal del puente. **BRIDGE\_GEOMETRY\_FILE** Número de pares de celdas a lo largo de la alineación del puente. **NC** Líneas **NUMBEROFCELLS** que contienen pares de números de celda a lo largo de la alineación del puente. **CELL\_A(1) CELL\_B(1) ... CELL\_A(NC) CELL\_B(NC)**

#### 15.3.1.1 Ejemplo de un archivo .BRIDGES

```
1
BRIDGE1
1894878.176 586966.254 1895274.636 586613.844
BRIDGEGEOM.DAT
```

9  
 133 1294  
 131 1296  
 129 1298  
 127 1300  
 125 1302  
 123 1304  
 121 1306  
 119 1308  
 94 1310

- **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; -; -; Par de celdas a lo largo de la alineación del puente.
- **NC:** I; > 0; -; Número de pares de celdas a lo largo de la alineación del puente.
- **NUMBEROFBRIDGES:** I; > 0; -; Número de puentes.

### 15.3.2 Archivo de datos de geometría de la sección transversal del puente

El archivo de sección transversal de la geometría del puente es necesario para definir la sección transversal del puente y se define mediante cuatro polilíneas y en cinco columnas, como se indica a continuación: Línea 1: Número de puntos que definen las polilíneas. **NP** Líneas NP 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 debe ser la siguiente:

- Para todas las estaciones,  $STATION(I) \leq STATION(I+1)$ .
- $BEDELEV \leq ZLOWER \leq LOWCHORD \leq DECKELEV$ .
- En una línea determinada, 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.

#### 15.3.2.1 Ejemplo del archivo de datos de geometría de la sección transversal

La siguiente tabla es un ejemplo del archivo de geometría que representa esquemáticamente el puente de la figura siguiente.

| NP → | Station | BedElev | ZLower | LowChord | DeckElev |
|------|---------|---------|--------|----------|----------|
| 23   | 0.00    | 142.00  | 142.00 | 142.00   | 142.00   |
|      | 96.68   | 125.72  | 125.72 | 125.85   | 142.00   |
|      | 193.37  | 123.03  | 123.03 | 123.32   | 142.00   |
|      | 290.05  | 119.86  | 119.86 | 120.79   | 142.00   |
|      | 386.74  | 110.37  | 110.37 | 120.79   | 142.00   |
|      | 483.42  | 109.00  | 109.00 | 120.79   | 142.00   |
|      | 580.10  | 107.58  | 107.58 | 120.79   | 142.00   |
|      | 676.79  | 106.35  | 106.35 | 120.79   | 142.00   |
|      | 750.00  | 106.30  | 106.30 | 120.79   | 142.00   |
|      | 750.00  | 106.30  | 106.30 | 106.44   | 142.00   |
|      | 780.00  | 106.30  | 106.30 | 106.55   | 142.00   |
|      | 780.00  | 106.30  | 106.30 | 120.79   | 142.00   |
|      | 870.16  | 105.18  | 105.18 | 120.79   | 142.00   |
|      | 966.84  | 106.77  | 106.77 | 120.79   | 142.00   |
|      | 1063.52 | 107.30  | 107.30 | 120.79   | 142.00   |
|      | 1160.21 | 116.47  | 116.47 | 120.79   | 142.00   |
|      | 1256.89 | 116.02  | 116.02 | 120.79   | 142.00   |
|      | 1353.58 | 116.09  | 116.09 | 120.79   | 142.00   |
|      | 1450.26 | 119.61  | 119.61 | 120.79   | 142.00   |
|      | 1546.94 | 121.24  | 120.92 | 120.79   | 142.00   |
|      | 1643.63 | 124.74  | 124.74 | 124.67   | 142.00   |
|      | 1644.00 | 142.00  | 142.00 | 142.00   | 142.00   |



**Figura 15.2** – Vista frontal de una sección transversal de puente.

- **BEDELEV:** R; -; m or ft; Elevación del lecho. Debe ser la elevación más baja para todas las polilíneas en un punto dado.
- **DECKELEV:** R; -; m or ft; Elevación del tablero del puente. Debe ser la elevación más alta para todas las polilíneas en un punto dado.
- **NP:** I; -; > 1; Número de puntos que definen las polilíneas de la sección transversal.
- **STATION:** R; -; m or ft; Distancia desde el punto más a la izquierda que define la polilínea de

la sección transversal. Todos los puntos de las polilíneas deben tener una estación común.

- **ZLOWER:** R; -; m or ft; Elevación de la polilínea inferior. ZLOWER debe ser mayor o igual que BEDELEV y menor o igual que LOWCHORD para un punto dado. El espacio entre BEDELEV y ZLOWER es un área bloqueada para el flujo. El espacio entre ZLOWER y LOWCHORD es un espacio abierto. Si el puente no tiene huecos, ZLOWER debe ser idéntico a BEDELEV.
- **LOWCHORD:** R; -; m or ft; Elevación de la parte inferior del tablero del puente. LOWCHORD debe ser mayor o igual que ZLOWER y menor o igual que DECKELEV para un punto particular. El espacio entre LOWCHORD y DECKELEV es un área bloqueada para el flujo.

## 15.4 Archivo de datos de alcantarillas: .CULVERTS

El componente de alcantarilla permite tener en cuenta las estructuras hidráulicas que transportan el flujo entre dos ubicaciones. El caudal entre los extremos de entrada y salida de la estructura se calculará basándose en una tabla de clasificación de la estructura hidráulica proporcionada por el usuario. El modelo determinará la dirección del flujo basándose en las condiciones hidráulicas en los extremos de la estructura. Línea 1: Número de versión del archivo de alcantarillas. **CULFILEVER** Línea 2: Número de alcantarillas. **NCULVERTS FOR EACH CULVERT (NCULVERTS):** IF (CULFILEVER = 202208)

**CulvertID**

**CulvertType**

IF (CulvertType is 0, 1, 2, -3, -4, -5)

**CulvertFile**

**X1 Y1 X2 Y2**

ELSE IF (CulvertType is 11, 12, -14, -15)

**CulvertFile**

**NcellsUPS cellID\_L\_1 cellID\_L\_2 ... cellID\_L\_NcellsUPS**

**NcellsDNS cellID\_R\_1 cellID\_R\_2 ... cellID\_R\_NcellsDNS**

ENDIF (CulvertType)

ELSE

**CulvertID**

**CulvertType**

**CulvertFile**

**X1 Y1 X2 Y2**

ENDIF (CULFILEVER)

END (NCULVERTS)

### 15.4.1 Ejemplo de un archivo .CULVERTS

202208

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

- **CULFILEVER:** I; -; -; Número de versión del archivo de alcantarillas. La versión actual es 202208.
- **CulvertFile:** S; < 26; -; Nombre del archivo de la tabla de clasificación de la alcantarilla o del archivo de características de la alcantarilla. Consulte la siguiente sección para obtener detalles sobre el archivo de características de la alcantarilla. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **CulvertID:** S; < 26; -; Nombre de la alcantarilla. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **CulvertType:** I; 0, 1, 2, 11, 12,-3,-4,-5,-14,-15; -; Tipo de alcantarilla. Consulte los comentarios 1 y 2.
- **NCULVERTS:** I; > 0; -; Número de alcantarillas.
- **NcellsUPS:** I; > 0; -; Número de celdas de intercambio aguas arriba.
- **NcellsDNS:** I; > 0; -; Número de celdas de intercambio aguas abajo.
- **X1 Y1 X2 Y2:** R; -; m or ft; Coordenadas de los vértices que definen cada línea de alcantarilla.

## 15.4.2 Archivos de datos de la tabla de clasificación profundidad-caudal de alcantarillas para CulvertType=0

Este formato se aplica a la tabla de clasificación de profundidad frente a caudal de la alcantarilla. Línea 1: Número de puntos de la serie de datos **NDATA** NDATA líneas que contienen profundidad y caudal. **DEPTH(I) Q(I)** Donde DEPTH(I) es la profundidad correspondiente al caudal Q(I). **INVERT\_Z1 INVERT\_Z2** Donde INVERT\_Z1 e INVERT\_Z2 son las elevaciones de solera de la entrada y la salida, respectivamente.

### 15.4.2.1 Ejemplo del archivo de tabla de clasificación profundidad-caudal de una alcantarilla

El siguiente ejemplo muestra una tabla de clasificación profundidad-caudal para una alcantarilla. NDATA es 7 y hay 7 líneas con pares de profundidad y caudal correspondiente:

```
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

- **NDATA:** I; > 0; -; Número de líneas en el archivo de datos.
- **INVERT\_Z1:** R; > 0; m o ft; Elevación de solera de entrada. Si INVERT\_Z1 = -9999, el modelo hace que INVERT\_Z1 sea igual a la elevación media del lecho de la celda de entrada.
- **INVERT\_Z2:** R; > 0; m o ft; Elevación de solera de salida. Si INVERT\_Z2 = -9999, el modelo hace que INVERT\_Z2 sea igual a la elevación media del lecho de la celda de entrada.
- **DEPTH:** R; > 0; m o ft; Profundidad del agua.
- **Q:** R; > 0; m<sup>3</sup>/s o ft<sup>3</sup>/s; Caudal de agua.

### 15.4.3 Archivos de datos de características de alcantarillas para CulvertType = 1, 2

Los datos de características de la alcantarilla tienen la siguiente estructura: **Nb Ke nc Kp M Cp Y m** Si CulvertType=1 **Hb Base** De lo contrario, si CulvertType=2 **Dc INVERT\_Z1 INVERT\_Z2**

### 15.4.4 Ejemplo del archivo de datos de características de una alcantarilla

202208

1

0.5

0.012

1

1

1.1

0.6

-0.5

0.10

5.0

1.0

Este archivo de datos de características de la alcantarilla de ejemplo indica que la alcantarilla tiene un conducto (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 e INVERT\_Z2 = 1.0.

- **Nb:** I; -; -; Número de conductos idénticos. El caudal calculado para una alcantarilla se multiplica por Nb para obtener el caudal total de la alcantarilla.
- **Ke:** R; 0-1; -; Coeficiente de pérdida de entrada indicado en la Tabla .
- **nc:** R; 0.01-0.1; -; Coeficiente n de Manning de la alcantarilla indicado en la Tabla .
- **K':** R; 0.1-2.0; -; Coeficiente de control de entrada indicado en la Tabla .
- **M:** R; 0.6-2.0; -; Coeficiente de control de entrada indicado en la Tabla .

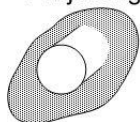
- **c'**: R; 0.6-2.0; -; Coeficiente de control de entrada indicado en la Tabla .
- **Y**: R; 0.5-1.0; -; Coeficiente de control de entrada indicado en la Tabla .
- **m**: R; 0.7,-0.5; -; Coeficiente de forma de entrada. m=0.7 para entradas en inglete, m=-0.5 para todas las demás entradas.
- **Hb**: R; > 0; m o ft; Altura del conducto para alcantarillas de sección rectangular. Solo para CulvertType = 1.
- **Base**: R; > 0; m o ft; Anchura del conducto para alcantarillas de sección rectangular. Solo para CulvertType = 1.
- **Dc**: R; > 0; m o ft; Diámetro para alcantarillas circulares. Solo para CulvertType = 2.
- **INVERT\_Z1**: R; > 0; m o ft; Elevación de solera de entrada. Si INVERT\_Z1 = -9999, el modelo hace que INVERT\_Z1 sea igual a la elevación media del lecho de la entrada.
- **INVERT\_Z2**: R; > 0; m o ft; Elevación de solera de salida. Si INVERT\_Z2 = -9999, el modelo hace que INVERT\_Z1 sea igual a la elevación media del lecho de la celda de entrada.
- **Buenas juntas, paredes lisas**: 0.012
- **Proyectada desde el terraplén, extremo cortado en escuadra**: 0.015
- **Juntas deficientes, paredes rugosas**: 0.017
- **Ondulaciones de 2-2/3 pulgadas × 1/2 pulgada**: 0.025
- **Ondulaciones de 6 pulgadas × 1 pulgada**: 0.024
- **Ondulaciones de 5 pulgadas × 1 pulgada**: 0.026
- **Ondulaciones de 3 pulgadas × 1 pulgada**: 0.028
- **Ondulaciones de 6 pulgadas × 2 pulgadas**: 0.034
- **Ondulaciones de 9 pulgadas × 2 1/2 pulgadas**: 0.035
- **Proyectada desde el terraplén, extremo ranurado**: 0.2
- **Proyectada desde el terraplén, extremo cortado en escuadra**: 0.5 & Pared frontal o pared frontal con muros de ala (hormigón o sacos de arena con cemento)
- **Extremo de tubería ranurado**: 0.2
- **Extremo de tubería cortado en escuadra**: 0.1
- **Extremo de tubería redondeado**: 0.7 & Extremo en inglete que se adapta a la pendiente del terraplén
- **Sin rejilla**: 0.5
- **Con rejilla**: 0.7
- **Tubería metálica corrugada**: Proyectada desde el terraplén (sin pared frontal); 0.9

- **Pared frontal con o sin muros de ala (hormigón o sacos de arena con cemento):** 0.5
- **Extremo en inglete que se adapta a la pendiente del terraplén:** 0.7 & Sección terminal prefabricada de metal u hormigón que se adapta a la pendiente del terraplén
- **Sin rejilla:** 0.5
- **Con rejilla:** 0.7 & Pared frontal paralela al terraplén (sin muros de ala)
- **Con borde cuadrado en tres lados:** 0.5
- **Redondeada en tres lados con un radio de 1/12 de la dimensión del conducto:** 0.2 & Muros de ala a 30° a 75° respecto al conducto &
- **Con borde cuadrado en la corona:** 0.4
- **Borde de corona redondeado con un radio de 1/12 de la dimensión del conducto:** 0.2 & Muros de ala a 10° a 30° respecto al conducto &
- **Con borde cuadrado en la corona:** 0.5 & Muros de ala paralelos al terraplén
- **Con borde cuadrado en la corona:** 0.7
- **Hormigón:** Circular; Pared frontal; borde cuadrado; 0.3153; 2.0000; 1.2804; 0.6700
- **Hormigón:** Circular; Pared frontal; borde ranurado; 0.2509; 2.0000; 0.9394; 0.7400
- **Hormigón:** Circular; Proyectada; borde ranurado; 0.1448; 2.0000; 1.0198; 0.6900
- **Metal corrugado:** Circular; Pared frontal; 0.2509; 2.0000; 1.2192; 0.6900
- **Metal corrugado:** Circular; En inglete respecto a la pendiente; 0.2112; 1.3300; 1.4895; 0.7500
- **Metal corrugado:** Circular; Proyectada; 0.4593; 1.5000; 1.7790; 0.5400
- **Hormigón:** Circular; Anillo biselado; biseles de 45°; 0.1379; 2.5000; 0.9651; 0.7400
- **Hormigón:** Circular; Anillo biselado; biseles de 33.7°; 0.1379; 2.5000; 0.7817; 0.8300
- **Hormigón:** Rectangular; Muros de ala; abocinamientos de 30° a 75°; borde cuadrado; 0.1475; 1.0000; 1.2385; 0.8100
- **Hormigón:** Rectangular; Muros de ala; abocinamientos de 90° y 15°; borde cuadrado; 0.2242; 0.7500; 1.2868; 0.8000
- **Hormigón:** Rectangular; Muros de ala; abocinamientos de 0° ;borde cuadrado; 0.2242; 0.7500; 1.3608; 0.8200
- **Hormigón:** Rectangular; Muros de ala; abocinamiento de 45°; borde biselado; 1.6230; 0.6670; 0.9941; 0.8000
- **Hormigón:** Rectangular; Muros de ala; abocinamiento de 18° a 33.7°; borde biselado; 1.5466; 0.6670; 0.8010; 0.8300

- **Hormigón:** Rectangular; Pared frontal; chaflanes de 3/4 de pulgada; 1.6389; 0.6670; 1.2064; 0.7900
- **Hormigón:** Rectangular; Pared frontal; biseles de 45°; 1.5752; 0.6670; 1.0101; 0.8200
- **Hormigón:** Rectangular; Pared frontal; biseles de 33.7°; 1.5466; 0.6670; 0.8107; 0.8650
- **Hormigón:** Rectangular; Pared frontal; sesgo de 45°; chaflanes de 3/4 de pulgada; 1.6611; 0.6670; 1.2932; 0.7300
- **Hormigón:** Rectangular; Pared frontal; sesgo de 30°; chaflanes de 3/4 de pulgada; 1.6961; 0.6670; 1.3672; 0.7050
- **Hormigón:** Rectangular; Pared frontal; sesgo de 15°; chaflanes de 3/4 de pulgada; 1.7343; 0.6670; 1.4493; 0.6800
- **Hormigón:** Rectangular; Pared frontal; sesgo de 10-45°; biseles de 45°; 1.5848; 0.6670; 1.0520; 0.7500
- **Hormigón:** Rectangular; Muros de ala; abocinamientos no desplazados de 45°; 1.5816; 0.6670; 1.0906; 0.8030
- **Hormigón:** Rectangular; Muros de ala; abocinamientos no desplazados de 18.4°; chaflanes de 3/4 de pulgada; 1.5689; 0.6670; 1.1613; 0.8060
- **Hormigón:** Rectangular; Muros de ala; abocinamientos no desplazados de 18.4°; conducto sesgado 30°; 1.5752 0.6670; 1.2418; 0.7100
- **Hormigón:** Rectangular; Muros de ala; abocinamientos desplazados de 45°; borde superior biselado; 1.5816; 0.6670; 0.9715; 0.8350
- **Hormigón:** Rectangular; Muros de ala; abocinamientos desplazados de 33.7°; borde superior biselado; 1.5752; 0.6670; 0.8107; 0.8810
- **Hormigón:** Rectangular; Muros de ala; abocinamientos desplazados de 18.4°; bisel del borde superior; 1.5689; 0.6670; 0.7303; 0.8870
- **Metal corrugado:** Rectangular; Pared frontal; 0.2670; 2.0000; 1.2192; 0.6900
- **Metal corrugado:** Rectangular; Proyectada; pared gruesa; 0.3023; 1.7500; 1.3479; 0.6400
- **Metal corrugado:** Rectangular; Proyectada; pared delgada; 0.4593; 1.5000; 1.5956; 0.5700
- **Hormigón:** Circular; Garganta estrechada; 1.3991; 0.5550; 0.6305; 0.8900
- **Metal corrugado:** Circular; Garganta estrechada; 1.5760; 0.6400; 0.9297; 0.9000
- **Hormigón:** Rectangular; Garganta estrechada; 1.5116; 0.6670; 0.5758; 0.9700
- **Hormigón:** Circular; Pared frontal; borde cuadrado; 0.3153; 2.0000; 1.2804; 0.6700
- **Hormigón:** Circular; Pared frontal; borde ranurado; 0.2509; 2.0000; 0.9394; 0.7400
- **Hormigón:** Circular; Proyectada; borde ranurado; 0.1448; 2.0000; 1.0198; 0.6900

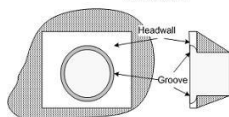
- **Metal corrugado:** Circular; Pared frontal; 0.2509; 2.0000; 1.2192; 0.6900
- **Metal corrugado:** Circular; En inglete respecto a la pendiente; 0.2112; 1.3300; 1.4895; 0.7500
- **Metal corrugado:** Circular; Proyectada; 0.4593; 1.5000; 1.7790; 0.5400
- **Hormigón:** Circular; Anillo biselado; biseles de 45°; 0.1379; 2.5000; 0.9651; 0.7400
- **Hormigón:** Circular; Anillo biselado; biseles de 33.7°; 0.1379; 2.5000; 0.7817; 0.8300
- **Hormigón:** Rectangular; Muros de ala; abocinamientos de 30° a 75°; borde cuadrado; 0.1475; 1.0000; 1.2385; 0.8100
- **Hormigón:** Rectangular; Muros de ala; abocinamientos de 90° y 15°; borde cuadrado; 0.2242; 0.7500; 1.2868; 0.8000
- **Hormigón:** Rectangular; Muros de ala; abocinamientos de 0°; borde cuadrado; 0.2242; 0.7500; 1.3608; 0.8200
- **Hormigón:** Rectangular; Muros de ala; abocinamiento de 45°; borde biselado; 1.6230; 0.6670; 0.9941; 0.8000
- **Hormigón:** Rectangular; Muros de ala; abocinamiento de 18° a 33.7°; borde biselado; 1.5466; 0.6670; 0.8010; 0.8300
- **Hormigón:** Rectangular; Pared frontal; chaflanes de 3/4 de pulgada; 1.6389; 0.6670; 1.2064; 0.7900
- **Hormigón:** Rectangular; Pared frontal; biseles de 45°; 1.5752; 0.6670; 1.0101; 0.8200

Projecting



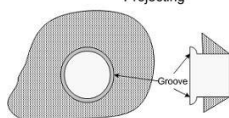
- : El extremo del conducto de la alcantarilla sobresale del terraplén.

Grooved Pipe with Headwalls



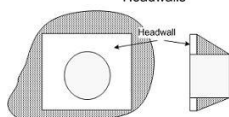
- : La tubería ranurada para alcantarillas de hormigón reduce las pérdidas de energía a través de la entrada de la alcantarilla.

Grooved Pipe Projecting

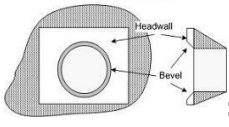


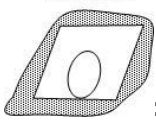
- : Esta opción es para alcantarillas de tubería de hormigón.

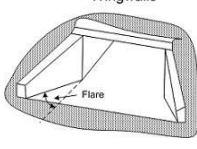
Square Edge with Headwalls



- : El borde cuadrado con pared frontal es una condición de entrada en la que la entrada de la alcantarilla queda al ras de la pared frontal.

- Beveled Edge with Headwalls
- 
- : Los «bordes biselados» constituyen un borde de entrada estrechado que reduce la pérdida de carga cuando el flujo entra en el conducto de la alcantarilla.

- Mitered
- 
- : Una entrada en inglete se produce cuando el conducto de la alcantarilla se corta de modo que queda al ras de la pendiente del terraplén.

- Wingwalls
- 
- : Los muros de ala se utilizan cuando la alcantarilla es más corta que el terraplén y evitan que el material del terraplén caiga dentro de la alcantarilla.

### 15.4.5 Comentarios para los archivos .CULVERTS y de características de las alcantarillas

1. El tipo de alcantarilla y su condición de flujo se define mediante el parámetro CulvertType, de la siguiente manera:

**CulvertType = 0: [000]** Caudal calculado mediante la curva de gasto (Q frente a profundidad de entrada). Solo se utilizan las celdas de entrada y salida para el intercambio de volumen.

**CulvertType = 1: [001]** Alcantarilla de sección rectangular/de caja. Solo se utilizan las celdas de entrada y salida para el intercambio de volumen.

**CulvertType = 2: [002]** Alcantarilla de sección circular. Solo se utilizan las celdas de entrada y salida para el intercambio de volumen.

**CulvertType = 11: [011]** Alcantarilla de sección rectangular/de caja. Se utilizan las celdas de entrada y salida, además de las celdas vecinas, para el intercambio de volumen.

**CulvertType = 12: [012]** Alcantarilla de sección circular. Se utilizan las celdas de entrada y salida, además de las celdas vecinas, para el intercambio de volumen.

**CulvertType = -3: [100]** Caudal calculado mediante la curva de gasto (Q frente a profundidad de entrada). Solo se utilizan las celdas de entrada y salida para el intercambio de volumen. Solo se permite el flujo de (X1,Y1) a (X2,Y2).

**CulvertType = -4: [101]** Alcantarilla de sección rectangular/de caja. Solo se utilizan las celdas de entrada y salida para el intercambio de volumen. Solo se permite el flujo de (X1,Y1) a (X2,Y2).

**CulvertType = -5: [102]** Alcantarilla de sección circular. Solo se utilizan las celdas de entrada y salida para el intercambio de volumen. Solo se permite el flujo de (X1,Y1) a (X2,Y2).

**CulvertType = -14: [111]** Alcantarilla de sección rectangular/de caja. Se utilizan las celdas de entrada y salida, además de las celdas vecinas, para el intercambio de volumen. Solo se permite el flujo de (X1,Y1) a (X2,Y2).

**CulvertType = -15: [112]** Alcantarilla de sección circular. Se utilizan las celdas de entrada y salida, además de las celdas vecinas, para el intercambio de volumen. Solo se permite el flujo de (X1,Y1) a (X2,Y2).

2. Para CulvertType 0, el caudal de la alcantarilla se calcula utilizando una tabla de gasto proporcionada en el archivo CulvertFile.
3. Para CulvertType 1, 2, 11, 12, -4, -5, -14 y -15, el modelo calculará el caudal de la alcantarilla para el control de entrada y salida utilizando los procedimientos de la FHWA (Norman et al.,1985), que posteriormente fueron reformulados en forma adimensional por Froehlich (2003).

## 15.5 Archivo de datos de rotura de presa: .DAMBREACH

Este componente requiere el archivo de datos generado por el complemento de QGIS. El archivo tiene el siguiente formato: Línea 1: Número de versión del archivo de rotura de presa. **DBFVERSION** Línea 2: Número de presas. **NUMBEROFDAMS** A continuación, para cada presa aparece un grupo de **NUMBEROFDAMS** líneas con los siguientes datos: Nombre de la presa. **DAM\_ID** Modo de fallo. **DAM\_FAILMODE** Coordenadas del centro de la brecha de la presa. **X0 Y0** Parámetros de definición de la brecha de la presa **ZC Angle CD t\_initial zb0 d50 tau\_c k\_sm k\_d Gs Porosity C damCrestWidth UpstreamSlope DownstreamSlope** Archivo de la brecha de la presa **DAMBREACHFILE** Número de pares de celdas a lo largo de la alineación de la presa. **NC NC** líneas que contienen pares de números de celdas a lo largo de la alineación de la presa. **CELL\_A(1) CELL\_B(1) ... CELL\_A(NC) CELL\_B(NC)**

### 15.5.1 Ejemplo de un archivo .DAMBREACH

```
202208
1
DAMBREACH1
1
5300.0 600.0
216.3 45.0 0.601 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0
DambreachFile1 . dat
7
332 334
69 335
67 349
```



65 358  
 50 360  
 41 363  
 4 378

- **DBFVERSION:** I; > 0; –; Número de versión del archivo, p. ej., 202208.
- **NUMBEROFDAMS:** I; > 0; –; Número de presas.
- **DAM\_ID:** S; < 26; –; ID del puente.
- **DAM\_FAILMODE:** I; –; 1, 2, 3; Modo de fallo:
  - Fallo prescrito.
  - Erosión por sobrevertido.
  - Erosión por tubificación.
- **X0, Y0:** R; –; [m or ft]; Coordenadas del centro de la brecha de la presa. Estas coordenadas son calculadas por el modelo utilizando la distancia desde uno de los extremos de la polilínea de la presa proporcionada en los diálogos de QGIS y DIP.
- **ZC:** R; –; [m or ft]; Cota inicial de la coronación de la presa.
- **Angle:** R; [5, 90]; –; Ángulo de la pendiente lateral de la brecha con respecto a la horizontal.
- **CD:** R; –; –; Coeficiente adimensional de descarga de la brecha.
- **T\_initial:** R; –; h.; Hora de inicio de la brecha
- **Zb0:** R; –; [m or ft]; Cota inicial del fondo de la brecha
- **D50:** R; –; [m or ft]; Diámetro medio del material de la presa.
- **Tau\_c:** R; –; [Pa or lb/in<sup>2</sup>]; Tensión cortante crítica.
- **K\_sm:** R; –; –; Corrección por sumersión para los efectos del agua de cola.
- **Kd:** R; –; [m<sup>3</sup>/(N s) or ft<sup>2</sup>s/lb]; Coeficiente de erosión.
- **Gs:** R; –; –; Gravedad específica del material de la presa.
- **Porosity:** R; (0,1); –; Porosidad del material de la presa expresada como fracciones de 1, p. ej., 0.4.
- **C:** R; –; [Pa or lb/in<sup>2</sup>]; Cohesión del material de la presa.
- **DamCrestWidth:** R; –; [m or ft]; Anchura de la coronación de la presa.
- **UpstreamSlope:** R; [0-1]; –; Pendiente aguas arriba de la presa.
- **DownstreamSlope:** R; [0-1]; –; Pendiente aguas abajo de la presa.

- **DAMBREACHFILE:** S; < 26; –; Se utiliza únicamente para el modo de fallo prescrito (1), pero siempre debe proporcionarse un texto ficticio para los modos de fallo 2 y 3. El archivo contiene la serie temporal de la apertura de anchura y altura de la brecha. El nombre del archivo no debe contener espacios en blanco. Consulte los detalles en las secciones y .
- **NC:** I; > 0; –; Número de pares de celdas a lo largo de la alineación de la presa.
- **CELL\_A(i) CELL\_B(i):** I; –; –; Par de celdas a lo largo de la alineación de la presa.

## 15.5.2 Archivo de datos de evolución temporal de la brecha para el modo de fallo prescrito

Para el modelo de fallo prescrito 1, el archivo de evolución temporal de la brecha es necesario para definir la anchura y la altura de la apertura de la brecha en cada instante. El formato se describe a continuación: Línea 1: Número de instantes. **NT** NT líneas con estas entradas: **TIME(1) WIDTH(1) HEIGHT(1) ... TIME(NT) WIDTH(NT) HEIGHT(NT)**

### 15.5.2.1 Ejemplo del archivo de datos de evolución temporal de la brecha (solo modo de fallo prescrito)

```
3
0 1 1
0.25    20    25
1       20    25
```

## 15.5.3 Comentarios sobre el archivo .DAMBREACH

Estos son los parámetros de definición de la brecha requeridos para cada modo de fallo:

- **Prescribed:** ZC, Angle y CD.
- **Overtopping erosion:** ZC, Angle, CD, t\_initial, zb0, d50, tau\_c, k\_sm, k\_d.
- **Piping erosion:** ZC, Angle, CD, t\_initial, zb0, d50, tau\_c, k\_sm, k\_d, Gs, Porosity, C, dam-CrestWidth, UpstreamSlope, DownstreamSlope.

Tenga en cuenta que la línea que contiene los *parámetros de definición de la brecha de la presa* en el archivo siempre tiene 15 valores, incluso cuando no todos se utilizan para los modos Prescribed y Overtopping.

## 15.6 Archivos de datos de compuertas: .GATES

Este componente requiere el archivo de datos generado internamente por el modelo a partir de la representación geométrica introducida en el complemento de QGIS de RiverFlow2D. El archivo tiene el siguiente formato: Línea 1: Número de compuertas. **NUMBEROFGATES** **NUMBEROFGATES** líneas que contienen los datos de cada compuerta. ID de la compuerta **GATES\_ID** Altura de la coronación Cd **CRESTELEV** **GATEHEIGHT** Cd Serie temporal de apertura de la compuerta

**GATE\_APERTURES\_FILE** Número de pares de celdas a lo largo de la alineación de las compuertas **NC** **NUMBEROFCELLS** líneas que contienen pares de números de celdas a lo largo de la alineación de la compuerta **CELL\_A(1) CELL B(1) ... CELL\_A(NC) CELL B(NC)**

### 15.6.1 Ejemplo de un archivo .GATES

```
2
Gate2
102.00 2.00 1.720
Gate2.DAT
5
3105 29
3103 79
3101 87
3099 137
3097 141
Gate1
111.00 11.00 1.710
Gate1.DAT
8
4099 285
4097 283
4033 281
4031 279
4029 277
4027 156
4026 82
4024 16
```

- **Cd**: R; > 0; -; Coeficiente adimensional de descarga.
- **CRESTELEV**: R; > 0; -; Cota de la coronación de la compuerta.
- **GATE\_APERTURES\_FILE**: S; < 26; -; Serie temporal de apertura de la compuerta.
- **GATEHEIGHT**: R; > 0; -; Altura de la compuerta.
- **GATE\_ID**: S; < 26; -; ID de la compuerta.
- **CELL\_A(i) CELL B(i)**: I; -; -; Números de celdas de los pares de celdas a lo largo de la alineación de la compuerta.
- **NC**: I; > 0; -; Nombre del pilar. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **NUMBEROFGATES**: I; > 0; -; Número de celdas a lo largo de la alineación de la compuerta.

### 15.6.2 Archivo de serie temporal de apertura de la compuerta

Línea 1: Número de puntos de la serie temporal de datos de apertura de la compuerta. **NPOINTS**  
**NPOINTS** líneas que contienen: Tiempo y apertura. **TIME H(I)**

### 15.6.3 Ejemplo de un archivo de datos de apertura de compuerta

```
3
0 0.0
2 0.5
4 1.0
```

- **NPOINTS:** I; > 1; -; Número de puntos de datos de la serie temporal de apertura de la compuerta.
- **TIME:** R; > 0; h.; Tiempo.
- **H(I):** R; -; m or ft; Apertura de la compuerta para el tiempo correspondiente.

## 15.7 Archivo de datos de tabla de gasto interna: .IRT

Este archivo de datos permite modelar estructuras hidráulicas complejas dentro del dominio de modelación. El usuario introduciría polilíneas coincidentes con los nodos de la malla y asignaría a la polilínea una tabla de gasto de descarga frente a cota de la lámina de agua. En otras palabras, las polilíneas IRT deben conectar nodos de la malla de celdas triangulares. Para cada paso temporal, el modelo calculará la descarga que cruza la polilínea y encontrará mediante interpolación la cota correspondiente de la lámina de agua a partir de la tabla de gasto proporcionada. A continuación, el modelo impondrá dicha cota de la lámina de agua a todos los nodos situados a lo largo de la polilínea. Las velocidades se calcularán utilizando las ecuaciones 2D estándar. Por lo tanto, en las polilíneas de tablas de gasto internas, las velocidades calculadas no necesariamente pueden ser perpendiculares a la polilínea IRT. La estructura del archivo es la siguiente: Línea 1: Número de polilíneas de tablas de gasto internas. **IRT\_NPL** IRT\_NPL grupos de líneas que contienen el ID de la polilínea IRT, el número de vértices que define cada polilínea, el tipo de condición de contorno IRT (siempre igual a 19 en esta versión), el nombre del archivo de la tabla de gasto, seguido de la lista de vértices de coordenadas 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)**

### 15.7.1 Ejemplo de un archivo .IRT

```
2
IRT_A
4 19 IRT_A.DAT
799429.362 308905.287
799833.895 308354.857
799986.424 307738.111
799847.158 307141.259
IRT_B
4 19 IRT_B.DAT
799482.440 309453.678
```

799135.525 309118.164  
 798914.020 309269.634  
 798787.701 309467.583

Este archivo indica que hay 2 polilíneas de tablas de gasto internas; el ID de la primera es IRT\_A, que tiene 4 vértices, BCTYPE 19 y nombre de archivo.

- **IRT\_NPL:** I; > 0; -; Número de polilíneas IRT.
- **IRT\_NV:** I;  $\geq 2$ ; -; Número de puntos que definen cada polilínea IRT.
- **IRT\_ID:** S; < 26; -; Nombre de IRT. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **IRT\_BCTYPE:** I; 19; -; La condición de contorno siempre es igual a 19 en esta versión, correspondiente a las tablas de caudal frente a elevación de la superficie del agua. Las versiones futuras incluirán más opciones.
- **X\_IRT Y\_IRT:** R; -; m or ft; Coordenadas de los vértices que definen cada polilínea IRT. Véase el comentario 1.
- **IRT\_FILENAME:** S; < 26; -; Nombre de archivo que contiene la tabla de calibración interna en el formato descrito como archivo de datos de caudal-elevación. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.

## 15.7.2 Comentarios del archivo .IRT

1. Las polilíneas IRT deben definirse evitando cambios bruscos de dirección (por ejemplo, giros de 90 grados). Estas alineaciones de polilíneas pueden crear errores en el algoritmo del modelo que identifica los nodos situados sobre la polilínea. Por lo tanto, se recomienda que la IRT siga una trayectoria más o menos suave.

## 15.8 Archivo de datos de precipitación y evaporación: .LRAIN

Utilice este archivo para introducir datos de precipitación y evaporación distribuidos espacialmente y variables en el tiempo. El modelo supone que la precipitación y la evaporación pueden variar sobre el área de modelación. Línea 1: Número de polígonos donde se definen las series temporales de precipitación. **NP**

NP grupos de líneas que contienen el archivo de datos del hietograma y de evaporación para cada zona **RAINEVFILE(i)**

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))**

### 15.8.0.1 Ejemplo de un archivo .LRAIN

2  
 hyeto1.TXT  
 4

```

25.0 25.0
25.0 75.0
75.0 75.0
75.0 25.0
hyeto2.TXT
4
25.0 125.0
25.0 175.0
75.0 175.0
75.0 125.0

```

En este ejemplo, hay dos polígonos. El archivo de datos de precipitación y evaporación para el primer polígono es y el polígono está definido por cuatro vértices.

- **NPZONE(i):**  $I; \geq 1; -;$  Número de vértices que definen el polígono i.
- **NP:**  $I; -; -;$  Número de polígonos.
- **RAINEVFILE:**  $S; \leq 26; -;$  Intensidad de precipitación. Véase el comentario 1.
- **X(i) Y(i):**  $R; > 0; m \text{ or } ft;$  Coordenadas de los vértices del polígono i.

## 15.8.1 Comentarios del archivo .LRAIN

1. La distribución espacial de la precipitación y la evaporación se proporciona como un número de polígonos no superpuestos que cubrirían o no el área de la malla. Las zonas no cubiertas por ningún polígono no tendrán precipitación ni evaporación impuestas sobre la malla.

### 15.8.1.1 Archivo de datos del hietograma y de evaporación

Línea 1: Número de puntos en las series temporales de precipitación y evaporación. **NP** PRE NP  
líneas que contienen: Tiempo, intensidad de precipitación, intensidad de evaporación. **TIME RAIN-INT EVAPINT**

## 15.8.2 Ejemplo de un archivo de datos del hietograma y de evaporación

```

8
0.0 0.0 0.01
1.0 1.0 0.02
3.0 4.0 0.02
6.0 12.0 0.00
6.2 7.0 0.00
7.0 3.0 0.0
7.1 0.0 0.0
9.0 0.0 0.0

```

- **EVAPINT:**  $R; \geq 0; mm/h \text{ or } in/h;$  Intensidad de evaporación. Véase el comentario 1.

- **NPRES:** I; -; -; Número de tiempos en las series temporales de precipitación y evaporación.
- **RAININT:** R;  $\geq 0$ ; mm/h or in/h; Intensidad de precipitación. Véase el comentario 1.
- **TIME:** R;  $> 0$ ; hours; Intervalo de tiempo

### 15.8.3 Comentarios del archivo de datos del hietograma y de evaporación

1. Para calcular la precipitación/evaporación sobre la malla, el modelo utilizará las intensidades de precipitación y evaporación proporcionadas para cada intervalo de tiempo. Por ejemplo, en el ejemplo anterior, para todos los tiempos entre 1 y 3 horas, la intensidad de precipitación será igual a 1 mm/h y la intensidad de evaporación será igual a 0.02 mm/h. Para los tiempos entre 3 y 6 horas, la intensidad de precipitación será igual a 1 mm/h y la intensidad de evaporación será igual a 0.02 mm/h, y así sucesivamente para los demás tiempos.
2. Si el usuario tiene un archivo en la carpeta del proyecto, el programa aplicará los datos contenidos en dicho archivo a todas las celdas cuyo centroide quede fuera de los polígonos indicados en la capa *RainEvap* y que no estén cubiertas por ningún otro polígono.

## 15.9 Archivo de datos de infiltración: .LINF

Utilice este archivo para introducir parámetros de infiltración distribuidos espacialmente. Línea 1: Número de zonas definidas por polígonos donde se definen los parámetros de infiltración. **NI-**  
**ZONES** NIZONES grupos de líneas que contienen: Archivo de datos de infiltración para cada zona  
**INFILFILE** Número de vértices del polígono i **NPZONE(i)** Lista de coordenadas de los vértices de  
 NPZONE(i) **X(1) Y(1) ... X(NPZONE(i)) Y(NPZONE(i))**

### 15.9.1 Ejemplo de un archivo .LINF

```
2
inf1 .inf
4
0.0 0.0
0.0 200.0
200.0 200.0
200.0 0.0
Inf2 .inf
4
200.0 200.0
400.0 200.0
400.0 0.0
200.0 0.0
```

En este ejemplo, hay dos polígonos. El archivo de datos de infiltración para el primer polígono es y el polígono está definido por cuatro vértices.

- **&:** 7
- **NPZONE(i):**  $I; \geq 1; -;$  Número de vértices que definen la zona i.
- **NIZONES:**  $I; -; -;$  Número de zonas. Véanse los comentarios 1 y 2.
- **INFILFILE:**  $S; \leq 26; -;$  Archivo de parámetros de infiltración.
- **X(i) Y(i):**  $R; > 0; m \text{ or } ft;$  Coordenadas de los vértices del polígono que define la Zona i.

## 15.9.2 Comentarios del archivo .LINF

1. La distribución espacial de los parámetros de infiltración se proporciona como un número de polígonos no superpuestos que cubrirían o no el área de la malla. Las zonas no cubiertas por ningún polígono no tendrán pérdida por infiltración calculada.
2. Cada polígono puede tener asignado un método de infiltración diferente.
3. Si el usuario tiene un archivo `DefaultInfiltration .DAT` en la carpeta del proyecto, el programa aplicará los datos contenidos en dicho archivo al área complementaria de los polígonos proporcionados.

### 15.9.2.1 Archivo de datos de parámetros de infiltración

Línea 1: Modelo para calcular la infiltración. **INFILMODEL** Línea 2: Número de parámetros de infiltración. **NIPARAM** Si **INFILMODEL** = 1: método de Horton: Línea 3: **K f<sub>c</sub> f<sub>0</sub>** Si **INFILMODEL** = 2: método de Green and Ampt: Línea 3: **KH PSI DELTATHETA** Si **INFILMODEL** = 3: método SCS-CN: Línea 3: **CN POTRETCONST AMC**

## 15.9.3 Ejemplo de un archivo de datos de parámetros de infiltración

```
1
3
8.3E-04 3.47E-06 2.22E-5
```

En este ejemplo, el método de pérdida por infiltración se establece en 1, correspondiente al modelo de Horton. Hay 3 parámetros, como sigue:  $K = 8.3E-04$ ,  $f_c = 3.47E-06$  y  $f_0 = 2.22E-5$ .

- **AMC:**  $I; > 0; 1, 2, 3;$  Contenido de humedad antecedente (AMC). Representa la humedad relativa precedente del suelo antes del evento de tormenta. Permite tener en cuenta la variación de CN para diferentes eventos de tormenta, o la humedad inicial del suelo para un evento determinado utilizando las Ecs. y. Véanse los posibles valores de AMC en la Tabla .
- **CN:**  $R; > 0; -;$  Número de curva. Véase USDA (1986) para determinar los valores adecuados según la cobertura del suelo. Los valores típicos varían de 10 para suelos altamente permeables a 99 para coberturas pavimentadas impermeables.
- **DELTATHETA:**  $R; > 0; -;$  Diferencia entre el contenido de humedad volumétrica saturada e inicial. Valor predeterminado =  $3E-5$ .
- $f_c$ :  $R; [0,5E-4]; m/s \text{ or } ft/s;$  Tasa de infiltración final. Valor predeterminado =  $2E-5$ .
- $f_0$ :  $R; [0,5E-4]; m/s \text{ or } ft/s;$  Tasa de infiltración inicial. Valor predeterminado =  $7E-5$ .
- **INFILMODEL:**  $I; 1,2,3; -;$  Método de infiltración. 1: Horton, 2: Green and Ampt, 3: SCS-CN.



- **K:** l; [0,30]; 1/s; Coeficiente de decaimiento utilizado en el método de Horton. Valor predeterminado = 1.
- **Kh:** l;  $\geq 0$ ; m/s or ft/s; Conductividad hidráulica utilizada en el método de Green and Ampt. Valor predeterminado = 0.00001.
- **NIPARAM:** l; 3; -; Número de parámetros de datos según el modelo de infiltración seleccionado. Debe establecerse de la siguiente manera: 3 para Horton o Green and Ampt, y para los métodos SCS-CN.
- **POTRETCONST:** R; [0-1]; -; Constante de retención máxima potencial. Típicamente = 0.2.
- **PSI:** R; [0-1]; m or in; Carga de succión del suelo en el frente de humectación. Valor predeterminado = 0.05.

).

- **Menos de 13 mm:** Menos de 36 mm
- **2:** De 13 mm a 28 mm; De 36 mm a 53 mm
- **3:** Más de 28 mm; Más de 53 mm

## 15.10 Archivo de datos de n de Manning variable con la profundidad: .MANNN

Este archivo es creado por el complemento RiverFlow2D QGIS basándose en los datos que se introducen en la capa *ManningsNz*. Se utiliza para tener en cuenta los datos de n de Manning variable con la profundidad distribuidos espacialmente. Línea 1: Número de zonas definidas por polígonos donde se define la n de Manning variable con la profundidad. **NNZONES** NRZONES grupos de líneas que contienen el archivo de datos de n de Manning variable con la profundidad para cada zona **MANNNFILE** 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))**

### 15.10.0.1 Ejemplo de un archivo .MANNN

```
2
Manning1.TXT
4
25.0 25.0
25.0 75.0
75.0 75.0
75.0 25.0
Manning2.TXT
4
25.0 125.0
25.0 175.0
75.0 175.0
75.0 125.0
```

En este ejemplo, hay dos polígonos. El archivo de datos de n de Manning del primer polígono es y el polígono está definido por cuatro vértices.

- **NNZONE(i):** I;  $\geq 1$ ; -; Número de vértices que definen la zona i.
- **NNZONES:** I; -; -; Número de zonas.
- **MANNFILE:** S;  $\leq 26$ ; -; Archivo de n de Manning. Véase el comentario 1.
- **X(i) Y(i):** R;  $> 0$ ; m o ft; Coordenadas de los vértices del polígono que define la Zona i.

### 15.10.1 Comentarios para el archivo .MANNN

1. La distribución espacial de la variable n de Manning con la profundidad se proporciona como un número de polígonos que cubren el área de la malla. Los bordes de los polígonos pueden tocarse entre sí o dejar un pequeño espacio; el modelo asigna los datos de n de Manning a una celda según el polígono que contiene el centroide de la celda, por lo que no es necesario que los límites coincidan exactamente. A las zonas que no están cubiertas por ningún polígono (área complementaria) se les asignan los datos del archivo DefaultManningsn.DAT (véase más abajo).
2. Cuando el archivo .MANNN está en uso (IMANN=2 en el archivo de control de ejecución .DAT), se ignoran los valores definidos en la capa regular de Manning N (el archivo .MannN2). No es necesario eliminar la propia capa de Manning N del proyecto.

#### 15.10.1.1 Archivo de datos de la variable n de Manning con la profundidad

Línea 1: Número de puntos en el archivo de n de Manning. **NP** NP líneas que contienen: **DEPTH(i)** **MANNINGS\_N(i)**

### 15.10.2 Ejemplo de un archivo de datos de la variable n de Manning con la profundidad

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

- **DEPTH(i):** R;  $\geq 0$ ; m o ft; Profundidad del flujo. Véase el comentario 1.
- **MANNINGS\_N(i):** R;  $\geq 0$ ; -; n de Manning correspondiente a DEPTH(i). Véase el comentario 1.
- **NP:** I; -; -; Número de valores en el archivo.

### 15.10.3 Comentarios para el archivo de datos de la variable n de Manning con la profundidad

1. Para calcular la n de Manning sobre la malla, el modelo identificará primero el polígono correspondiente a cada celda y luego utilizará el valor de n interpolado para la profundidad de

la celda a partir de la tabla correspondiente al polígono. En el ejemplo anterior, para toda profundidad entre 0.3 y 1, la  $n$  de Manning se obtendrá mediante interpolación lineal entre 0.1 y 0.03.

2. El usuario debe proporcionar un archivo DefaultManningsn.DAT en la carpeta del proyecto y el programa aplicará los datos contenidos en ese archivo al área complementaria de los polígonos proporcionados. Si no existe DefaultManningsn.DAT, el modelo aplicará un valor predeterminado de 0.035 a las áreas no cubiertas por los polígonos de  $n$  de Manning.

### 15.10.3.1 Archivo de datos de $n$ de Manning predeterminado:

#### DefaultManningsn.DAT

Cuando el archivo .MANNN no cubre toda la malla, al área complementaria se le asignan los datos de un archivo DefaultManningsn.DAT ubicado en la carpeta del proyecto. El modelo carga este archivo automáticamente. Si no está presente, el modelo aplica un valor predeterminado de 0.035 al área complementaria.

El formato del archivo es idéntico al del archivo de datos de la variable  $n$  de Manning interior con la profundidad documentado anteriormente:

Línea 1: Número de puntos (NP).

NP líneas: DEPTH(i) MANNINGS\_N(i)

### 15.10.4 Archivo de fuerzas de arrastre de pilas de puente: .PIERS

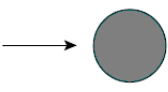
Esta opción requiere el archivo de datos generado internamente por el modelo a partir de la representación geométrica introducida en el complemento QGIS de RiverFlow2D. El archivo de datos tiene el siguiente formato: Línea 1: Número de pilas. **NUMBEROFPIERS** NUMBEROFPIERS líneas que contienen los datos de cada pila. **X Y ANGLEX LENGTH WIDTH CD PIERID**

#### 15.10.4.1 Ejemplo de un archivo .PIERS

```
124
2042658.82 14214769.48 47.33 19.00 4.00 0.64 P1
2042690.52 14214739.87 46.66 19.00 4.00 0.64 P2
...
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
```

- **ANGLEX:** R; 0 – 180; Grados; Ángulo de la pila con respecto al eje X. Véase el comentario 1.
- $C_D$ : R; 0.5 – 2.5; -; Coeficiente de arrastre adimensional de la pila. Véase el comentario 2.
- **LENGTH:** R; -; m o ft; Longitud de la pila.
- **PIERID:** S; < 26; -; Nombre de la pila. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **WIDTH:** R; -; m o ft; Anchura de la pila.

- **X:** R; -; m o ft; Coordenada X del centroide de la pila.
- **Y:** R; -; m o ft; Coordenada Y del centroide de la pila.

- **Cilindro circular:** 

- **Cilindro cuadrado:** 

- **Cilindro cuadrado:** 

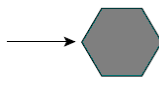
- **Cilindro cuadrado:**  $R/B$ ;  $C_D$

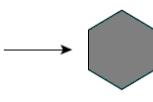
- **con:** 0; 2.2

- **esquinas redondeadas:** 0.02; 2.0

- **0.17:** 1.2

- **0.33:** 1.0

- **Cilindro hexagonal:** 

- **Cilindro hexagonal:** 

- **L/B:**  $C_D$

- **1:** 1.0

- **2:** 0.7

- **4:** 0.68

- **6:** 0.64

- **L/B:**  $C_D$

- **1:** 2.2

- **2:** 1.8

- **4:** 1.3

- **6:** 0.9

### 15.10.4.2 Comentarios para el archivo .PIERS

1. El ángulo ANGLEX se aplica únicamente a las pilas que son rectangulares en planta. Por ejemplo, ANGLEX = 90 corresponde a una pila cuyo eje más largo es perpendicular al eje X.
2. El coeficiente de arrastre  $C_D$  está relacionado con la fuerza de arrastre mediante la siguiente fórmula:

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

donde  $C_D$  es el coeficiente de arrastre de la pila,  $\rho$  es la densidad del agua,  $U$  es la velocidad del agua y  $A_P$  es el área mojada de la pila proyectada normalmente a la dirección del flujo.

Para tener en cuenta la fuerza de arrastre que la pila ejerce sobre el flujo, RiverFlow2D la convierte en el esfuerzo cortante distribuido en la celda donde se encuentra la coordenada del centroide de la pila. Las expresiones resultantes del esfuerzo cortante de la pila en las direcciones x e y son las siguientes:

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

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

donde  $A_e$  es el área de la celda.

## 15.11 Archivo de datos de pilas de puente y socavación: .SCOUR

Este archivo almacena los datos necesarios para calcular la socavación alrededor de pilas y estribos de puentes. Línea 1: Número de pilas y estribos. **NP NP** grupos de líneas que contienen los siguientes datos: **Imode PierID lcomp XA, YA Y1 V1 Fr1 alfa ishape L a iBedCondition D50 D84 Vcritical SedimentSpecificDensity WaterSpecificDensity FrD K1 K2 K3 K theta ys W Wbottom iAbutmentType AlfaA AlfaB YmaxLB YmaxCW YcLB YcCW1 YcCW2 YsA q1 q2c n Manning Tauc BridgeXSEC\_X1, BridgeXSEC\_Y1, BridgeXSEC\_X2, BridgeXSEC\_Y2 UpstreamXSEC\_X1, UpstreamXSEC\_Y1, UpstreamXSEC\_X2, UpstreamXSEC\_Y2**

### 15.11.1 Ejemplo de un archivo .SCOUR

```
2
DrainA
2
Drain.TXT
799019.633 309402.572
DischargeIn
```

1

Discharge .TXT

799222.740 309048.493

- **Pier ID:** S; -; Nombre de la pila
- **Icomp:** I; (1, 2, 3, 4); Método de cálculo
- **XA, YA:** R; -; Coordenadas de la pila
- **Y1:** R; > 0; m, ft; Profundidad del flujo directamente aguas arriba de la pila
- **V1:** R; > 0; m/s, ft/s; Velocidad aguas arriba de la pila
- **Alfa:** R; [0, 180]; Grados; Ángulo de ataque
- **alfaRAD:** R; [0, Pi]; Radianes; Ángulo de ataque
- **ishape:** I; Forma de la pila
- **L:** R; > 0; m, ft; Longitud de la pila
- **a:** R; > 0; m, ft; Anchura de la pila
- **iBedCondition:** I; Condición del lecho
- **D50:** R; > 0; m, ft; D50
- **D84:** R; > 0; m, ft; D84
- **Sediment Specific Density:** R; (0,3); Ss
- **Water Specific Density:** R; (0,1.2); & Sw
- **K1:** R; Factor de corrección para la forma de la nariz de la pila.
- **K2:** R; Factor de corrección para el ángulo de ataque del flujo
- **K3:** R; Factor de corrección para la condición del lecho
- **K:** R; (0,3); (0,3); Anchura del fondo relativa a Ys.
- **theta:** R; 20-48°; Grados; ángulo de reposo del material del lecho
- **ys:** R;  $\geq 0$ ; m, ft; Profundidad de socavación
- **W:** R;  $\geq 0$ ; m, ft; Anchura superior del hoyo de socavación
- **Wbottom:** R;  $\geq 0$ ; m, ft; Anchura inferior del hoyo de socavación
- **Fr1:** R; > 0; Número de Froude aguas arriba de la pila
- **FrD:** R; > 0; Número de Froude densimétrico de las partículas
- **SIGMA:** R; > 0; Coeficiente de gradación del sedimento
- **Vc:** R; > 0; m/s, ft/s; Velocidad crítica para el inicio de la erosión del material
- **iAbutmentType:** I; [1-2]; -; Tipo de estribo
- **AlfaA:** R; [1-2]; -; Factor de amplificación para condiciones de lecho móvil
- **AlfaB:** R; [1-2]; -; Factor de amplificación para condiciones de agua clara
- **YmaxLB:** R;  $\geq 0$ ; m o ft; Profundidad máxima del flujo después de la socavación para condiciones de lecho móvil
- **YmaxCW:** R;  $\geq 0$ ; m o ft; Profundidad máxima del flujo después de la socavación para condiciones de agua clara
- **YcLB:** R;  $\geq 0$ ; m o ft; Profundidad que incluye la socavación por contracción en lecho móvil
- **YsA:** R; Profundidad de socavación del estribo
- **YcCW1:** R;  $\geq 0$ ; m o ft; Profundidad que incluye la socavación por contracción en agua clara.  
Método 1
- **YcCW2:** R;  $\geq 0$ ; m o ft; Profundidad que incluye la socavación por contracción en agua clara.  
Método 2
- **q1:** R;  $\geq 0$ ; m<sup>2</sup>/s o ft<sup>2</sup>/s; Caudal unitario aguas arriba

- **q2c:** R;  $\geq 0$ ; m<sup>2</sup>/s o ft<sup>2</sup>/s; Caudal unitario aguas arriba de la abertura constreñida
- **n Manning:** R;  $\geq 0.01$ ; -; n de Manning
- **TauC:** R;  $\geq 0$ ; Pa o lb/ft<sup>2</sup>; Esfuerzo cortante crítico
- **GammaW:** R;  $\geq 0$ ; N/m<sup>3</sup> o lb/ft<sup>3</sup>; Peso unitario del agua
- **BridgeXSEC\_X1, BridgeXSEC\_Y1, BridgeXSEC\_X2, BridgeXSEC\_Y2:** R; -; m o ft; Coordenadas de los puntos extremos de la sección transversal del puente
- **UpstreamXSEC\_X1, UpstreamXSEC\_Y1, UpstreamXSEC\_X2, UpstreamXSEC\_Y2:** R; -; m o ft; Coordenadas de los puntos extremos de la sección transversal aguas arriba

### 15.11.2 Comentarios para el archivo .SCOUR

1. El nombre del archivo es arbitrario, pero **no debe contener espacios en blanco**. El formato del archivo es el mismo que el del archivo de *una condición de contorno variable* descrito en la sección.
2. Para modelar afluencias, utilice valores de caudal positivos, y para modelar efluencias, utilice valores negativos.

## 15.12 Archivo de datos de fuentes y sumideros: .SOURCES

Utilice este archivo para introducir datos que simulen afluencias o efluencias puntuales en cualquier ubicación. Esta función se utiliza normalmente al modelar tomas (efluencia) o afluencias puntuales. El usuario puede proporcionar hidrogramas variables en el tiempo que se aplicarán a cada punto. Línea 1: Número de puntos fuente y sumidero. **NSOURCES** NSOURCES grupos de líneas que contienen el texto de identificación del punto fuente/sumidero, el nombre del archivo que contiene la serie temporal del caudal o la tabla de gasto, y las coordenadas del punto, como se indica a continuación: **SOURCEID SOURCETYPE ISFILENAME X\_S(I) Y\_S(I) ...**

### 15.12.1 Ejemplo de un archivo .SOURCES

```

2
DrainA
2
Drain.TXT
799019.633 309402.572
DischargeIn
1
Discharge.TXT
799222.740 309048.493

```

Este archivo indica que hay 2 fuentes/sumideros. La primera se llama DrainA y se encuentra en las coordenadas: X = 799019.633 e Y = 309402.572, y es de tipo SOURCETYPE 2, lo que indica que el archivo de datos contiene una tabla de gasto de profundidad frente a caudal para el drenaje. La

segunda fuente es DischargeIN y es de tipo 1, para la cual se proporciona un hidrograma (tiempo frente a caudal).

- **NSOURCES:** I; > 0; -; Número de puntos fuente o sumidero.
- **ISFILENAME:** S; -; -; Nombre del archivo que contiene la serie temporal de cada fuente o sumidero puntual. No debe contener espacios en blanco. Consulte los comentarios 1 y 2.
- **SOURCEID:** S; < 26; -; Nombre de la fuente o sumidero puntual. Debe tener menos de 26 caracteres y no debe contener espacios en blanco.
- **SOURCETYPE:** I; 1, 2; -; Tipo de datos de la fuente o sumidero. Si es igual a 1, el archivo debe contener un hidrograma. Si es igual a 2, contiene una tabla de gasto con valores de profundidad frente a caudal.
- **X\_S Y\_S:** R; -; m o ft; Coordenadas de la fuente/sumidero.

## 15.12.2 Comentarios para el archivo .SOURCES

1. El nombre del archivo es arbitrario, pero no debe contener espacios en blanco. El formato del archivo es el mismo que el del archivo de *una condición de contorno variable* descrito en la sección.
2. Para modelar afluencias, utilice valores de caudal positivos, y para modelar efluencias, utilice valores negativos.

## 15.13 Archivo de fuentes múltiples

Este archivo facilita la introducción de muchas fuentes de afluencia y se utiliza normalmente al simular múltiples derrames desde una tubería. El archivo puede leerse en QGIS mediante *Import Multi-sources file* en Tools RiverFlow2D. Puede preparar el archivo en cualquier editor de texto utilizando el siguiente formato. Línea 1: Número de fuentes. **NSOURCEP** NSOURCESP líneas que contienen el texto de identificación del punto fuente/sumidero, las coordenadas X e Y del punto y el nombre del archivo que contiene la serie temporal del caudal o la tabla de gasto de cada punto, como se indica a continuación: **SOURCEID X\_S(I) Y\_S(I) ISFILENAME ...**

### 15.13.1 Ejemplo de un archivo de fuentes múltiples

9

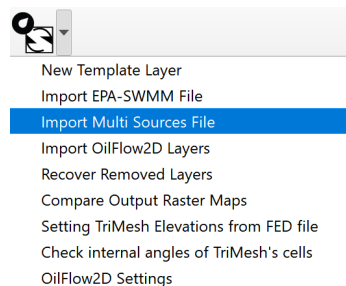
```
Source1 6232789.844 1941100.871 SOURCE_1.txt
Source2 6231510.593 1939867.858 SOURCE_2.txt
Source3 6230662.896 1938943.098 SOURCE_3.txt
Source4 6230154.278 1936954.865 SOURCE_4.txt
Source5 6229214.106 1935136.170 SOURCE_5.txt
Source6 6227179.634 1933764.443 SOURCE_6.txt
Source7 6224158.752 1931853.273 SOURCE_7.txt
Source8 6221877.678 1930758.974 SOURCE_8.txt
Source9 6219519.540 1928847.803 SOURCE_9.txt
```



Este archivo indica que hay 9 fuentes/sumideros. La primera se llama Source1 y se encuentra en las coordenadas:  $X = 6232789.844$  e  $Y = 1941100.871$ , y es el archivo de datos correspondiente que contiene la serie temporal del caudal de la fuente frente al tiempo.

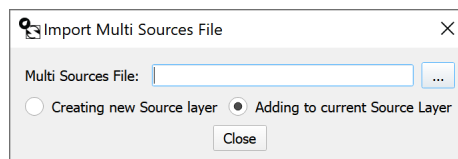
- **NSOURCESP:** I; > 0; -; Número de puntos fuente o sumidero.
- **ISFILENAME:** S; -; -; Nombre del archivo que contiene la serie temporal de cada fuente. No debe contener espacios en blanco.
- **SOURCEID:** S; < 26; -; Nombre de la fuente o sumidero puntual. No debe contener espacios en blanco.
- **X\_S Y\_S:** R; -; m o ft; Coordenadas de la fuente/sumidero.

Una vez generado el archivo, puede utilizar la herramienta *Import Multi-sources file* para poblar la capa *Sources*:



**Figura 15.3** – Lectura del archivo de fuentes múltiples.

A continuación, en el cuadro de diálogo *Multi-sources*, introduzca el nombre del archivo y seleccione si desea crear una nueva capa *Sources* o añadir las fuentes a una capa *Sources* existente.



**Figura 15.4** – Cuadro de diálogo *Multi-sources*.

## 15.14 Archivos de datos de vertederos: .WEIRS y .WEIRP

Estos archivos de datos permiten utilizar cálculos de vertedero a lo largo de polilíneas definidas por el usuario que representan el sobrevertido de una carretera o un vertedero. El usuario selecciona el coeficiente de vertedero asociado a cada vertedero y el modelo determinará los nodos de cada polilínea y el caudal a través de cada par de nodos basándose en las fórmulas y métodos de vertedero descritos en *Hydraulics of Bridge Waterways FHWA, 1978* (consulte el comentario 1). El modelo permite definir una elevación de cresta variable a lo largo de la polilínea del vertedero. Línea 1: Número de polilíneas de vertedero. **NWEIRS** NWEIRS grupos de líneas que incluyen el identificador del vertedero, el número de vértices que definen cada polilínea de vertedero, el coeficiente de vertedero seguido de las coordenadas de cada vértice, 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)**

### 15.14.1 Ejemplo de un archivo .WEIRS

```

4
WEIR_1
10 0.60 155.000
6217603.64 1925043.47 155.000
6217585.08 1925060.22 155.000
6217566.52 1925076.97 155.000
6217547.97 1925093.72 155.000
6217529.41 1925110.47 155.000
6217510.85 1925127.22 155.000
6217492.29 1925143.97 155.000
6217473.73 1925160.72 155.000
6217455.17 1925177.47 155.000
6217428.80 1925201.27 155.000
WEIR_2
8 0.60 155.000
6217496.72 1924525.22 200.000
6217475.99 1924539.18 200.174
6217455.25 1924553.15 200.348
6217434.52 1924567.11 200.522
6217413.78 1924581.08 200.695
6217377.46 1924605.54 201.000
6217353.53 1924612.77 201.229
6217329.60 1924620.01 201.457

```

Este archivo indica que hay 2 vertederos. El primero se llama WEIR\_A y está definido por una polilínea con 4 vértices. El coeficiente de descarga adimensional del vertedero es igual a 0.60.

El archivo es generado por el modelo basándose en el archivo y tiene una estructura similar. Se diferencian en que el archivo , en lugar de la lista de vértices, contiene la lista de pares de celdas triangulares a cada lado del vertedero.

Línea 1: Número de polilíneas de vertedero. **NWEIRS** NWEIRS grupos de líneas que incluyen el identificador del vertedero, el número de vértices que definen cada polilínea de vertedero, el coeficiente de vertedero seguido de las coordenadas de cada vértice, como se muestra a continuación:

**WEIR\_ID NC CD WRELEVCELL CELL\_R(1) CELL\_L(1) WRCREST(1) CELL\_R(2) CELL\_L(2)  
WRCREST(2) ... CELL\_R(NC) CELL\_L(NC) WRCREST(NC)**

### 15.14.2 Ejemplo de un archivo .WEIRP

```

4
WEIR_1

```

```

0.60 -999
9
8409      8851    155.000
8636      8677    155.000
8618      8705    155.000
8613      8703    155.000
8647      8602    155.000
8571      8841    155.000
8727      8809    155.000
8826      8824    155.000
8828      8731    155.000
WEIR_2
0.60 -999
7
3233      3212    200.087
3230      3202    200.261
3221      3193    200.435
3123      3189    200.608
3416      3112    200.847
3262      3762    201.114
3053      2980    201.343

```

- **CD:** R; > 0; -; Coeficiente de descarga adimensional del vertedero. Consulte el comentario 1.
- **CELL\_R(I) CELL\_L(I):** I; -; -; Celdas a cada lado de la polilínea.
- **NWEIRS:** I; > 0; -; Número de polilíneas de vertedero.
- **NC:** I; ≥ 2; -; Número de pares de celdas a lo largo de cada polilínea de vertedero.
- **NV:** I; ≥ 2; -; Número de puntos que definen cada polilínea de vertedero.
- **WEIR\_ID:** S; < 26; -; Nombre del vertedero. Debe tener menos de 26 caracteres y no debe contener espacios en blanco.
- **WRELEVCELL:** R; -; m o ft; Elevación de la cresta del vertedero para todo el vertedero. Si WRCRESTELEVCELL = -999, se proporciona una elevación del vertedero para cada vértice de la polilínea del vertedero.
- **WRCRESTELEV:** R; -; m o ft; Elevación de la cresta del vertedero para todo el vertedero. Si WRCRESTELEV = -9999, se proporciona una elevación del vertedero para cada vértice de la polilínea del vertedero.
- **WRCREST(I):** R; -; m o ft; Elevación de la cresta del vertedero para el vértice I.
- **X\_W(I) Y\_W(I):** R; -; m o ft; Coordenadas de los vértices que definen cada polilínea de vertedero. Consulte el comentario 2.

### 15.14.3 Comentarios para el archivo .WEIRS

1. La descarga del vertedero se calcula entre pares de nodos a lo largo de la polilínea basándose en la siguiente fórmula:

$$Q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{2g} L H^{3/2}$$

donde  $L$  es la distancia entre nodos,  $H$  es la carga total aguas arriba del segmento de polilínea y  $C_d$  es el coeficiente de descarga adimensional, que toma valores entre 0.611 y 1.1. El modelo comprueba la sumersión y, si ocurre,  $C_d$  se corrige de acuerdo con el factor de corrección definido por (FHWA, 2001).

2. Las polilíneas de vertedero deben definirse evitando cambios bruscos de dirección (p. ej., giros de  $\geq 90$  grados), porque dichos ángulos pueden crear errores en el algoritmo que identifica los nodos que se encuentran sobre la polilínea.

## 15.15 Archivo de datos de viento: .WIND

Use este archivo para introducir datos de velocidad del viento distribuidos espacialmente y variables en el tiempo. El modelo supone que la velocidad del viento puede variar en el área de modelación. 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 definen series temporales de velocidad del viento. **NWZONES** Línea 2: Coeficiente de tensión del viento. **CD** Línea 3: Densidad del aire. **AIRDENSITY** Grupo de líneas NWZONES que contiene el archivo de datos de hietógrafo y evaporación para cada zona. **WINDFILE** Número de vértices del polígono  $i$ . **NPZONE(i)** Lista de coordenadas de los vértices NPZONE( $i$ ). **X(1) Y(1) ... X(NPZONE(i)) Y(NPZONE(i))**

### 15.15.1 Ejemplo de un archivo

```
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  $C_d$  se establece en 0.009 y la densidad del viento en 1.225 kg/m<sup>3</sup>. El archivo de velocidad del viento para el primer polígono es y el polígono está definido por cuatro vértices.

- **AIRDENSITY:** R;  $\geq 0$ ; -; Densidad del aire. Siempre se proporciona en unidades métricas. Valor predeterminado = 1.225.
- **CD:** R;  $\geq 0$ ; -; Coeficiente de tensión del viento. Siempre se proporciona en unidades métricas. Valor predeterminado = 0.001. Consulte los comentarios para obtener orientación sobre el cálculo de CD.
- **NPZONE(i):** I;  $\geq 1$ ; -; Número de vértices que definen la zona i.
- **NWZONES:** I; -; -; Número de zonas.
- **WINDFILE:** S;  $\leq 26$ ; -; Archivo de serie temporal del vector de velocidad del viento. Consulte el Comentario 1.
- **X(I) Y(I):** R;  $> 0$ ; m o ft; Coordenadas de los vértices del polígono que define la Zona i.

### 15.15.2 Comentarios para el archivo

1. La distribución espacial del viento se proporciona como un número de polígonos no superpuestos que pueden cubrir o no el área de la malla. Las zonas no cubiertas por ningún polígono se considerarán sin tensión del viento.
2. Si el usuario tiene un archivo DefaultWind.DAT en la carpeta del proyecto, el programa aplicará los datos contenidos en ese archivo al área complementaria de los polígonos proporcionados.
3. La siguiente fórmula fue propuesta por Garrat (1971) para calcular CD:  $CD = (0.75 + 0.067W)10^{-3}$ , donde  $W$  es la velocidad del viento en m/s.

### 15.15.3 Archivo de datos de velocidad del viento

Línea 1: Número de puntos de la serie temporal de datos de velocidad del viento. **NPOINTS**  
**NPOINTS** líneas que contienen: Tiempo y componentes de la velocidad del viento en las direcciones X e Y. **TIME UX UY**

### 15.15.4 Ejemplo de un archivo de velocidad y datos del viento

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

- **NPOINTS:** I;  $> 1$ ; -; Número de puntos de datos de la serie temporal de velocidad del viento.
- **TIME:** R;  $> 0$ ; h; Tiempo.
- **UX(I) UY(I):** R; -; m/s o ft/s; Componentes de la velocidad del viento en las direcciones x e y.

## 15.16 Archivo de datos de barreras de contención de petróleo: .BOOMS

Este archivo de datos contiene los datos necesarios para implementar barreras de contención de petróleo en el modelo OilFlow2D.

Se representan como polilíneas introducidas en la capa *SpillBooms*. El usuario puede seleccionar el tipo de barrera y la altura de faldón. Línea 1: Número de polilíneas de barreras. **NBOOMS** Grupo de líneas NBOOMS que incluye el ID del vertedero, el número de vértices que define cada polilínea de barrera, el tipo de barrera, la altura de faldón y la fracción de pérdida, seguido de las coordenadas de cada vértice, como se muestra: **BOOM\_ID BOOM\_TYPE FUTURE\_USE TRAPPING\_FRACTION TUG\_VEL\_U TUG\_VEL\_V 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 NV X\_B(1) Y\_B(1) X\_B(2) Y\_B(2) ... X\_B(NV) Y\_B(NV)**

### 15.16.1 Ejemplo de un archivo .BOOMS

```

2
BOOM_1
1
1.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
5
4
799429.362 308905.287 200.
799833.895 308354.857 201.
799986.424 307738.111 202.
799847.158 307141.259 203.
BOOM_1
2
1.0 0.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
5
4
799482.440 309453.678 203.5
799135.525 309118.164 204.0
798914.020 309269.634 204.9
798787.701 309467.583 205.0

```

Este archivo indica que hay 2 barreras. La primera se denomina BOOM\_1, es de Tipo 1 ) y está definida por una polilínea con 4 vértices.

- **BOOM\_TYPE:** I; [1, 4] DEFAULT 1; -; Tipo de barrera definido de la siguiente manera
  - Cortina
  - Valla
  - Absorbente
  - Barrera de burbujas
- **TRAPPING\_FRACTION:** R; > 0 DEFAULT 0.0; -; Fracción de petróleo retenida por la barrera con respecto al petróleo capturado.
- **NBOOMS:** I; > 0; -; Número de polilíneas de barreras.
- **NV:** I; ≥ 2; -; Número de puntos que definen cada polilínea de barrera.

- **BOOM\_ID:** S; < 26; -; Nombre de la barrera. Debe tener menos de 26 caracteres y no debe contener espacios en blanco.
- **SKIRT\_HEIGHT:** R; - DEFAULT 0; *m* o *ft*; Altura del faldón de la barrera
- **TUG\_VEL\_U:** R; - DEFAULT 0; *m/s* o *ft/s*; Componente de la velocidad del remolcador en la dirección x.
- **TUG\_VEL\_V:** R; - DEFAULT 0; *m/s* o *ft/s*; Componente de la velocidad del remolcador en la dirección y.
- **X\_B(I) Y\_B(I):** R; -; *m* o *ft*; Coordenadas de los vértices que definen cada polilínea de barrera.

## 15.17 Archivo de datos de flujo de lodo y relaves: .MUD

Este archivo proporciona los parámetros necesarios para modelar el flujo de lodo y relaves utilizando el modelo RiverFlow2D.

Línea 1: Relación de resistencia al flujo. **MF\_FRR** Línea 2: Esfuerzo de fluencia. **MF\_YS** Línea 3: Viscosidad de Bingham. **MF\_BVIS** Línea 4: Ángulo de fricción interna. **MF\_THETA** Línea 5: Densidad del material. **MF\_DENS** Línea 6: Concentración por volumen. **MF\_CV** Línea 7: Entero de uso interno (DIP) **MF\_I1** Línea 8: Entero de uso interno (DIP) **MF\_I2** Línea 9: Entero de uso interno (DIP) **MF\_I3** Línea 10: Entero para determinar propiedades constantes (0), variables (1), propiedades variables con evolución de la fracción del lecho (2) **MF\_COV** Línea 11: Parámetros para el cálculo dinámico de la viscosidad y el esfuerzo de fluencia **MF\_ALFAV MF\_BETAV MF\_ALFAYS MS\_BETAYS** Línea 12: Viscosidad y esfuerzo de fluencia constantes o variables. **MF\_VISCVAR MF\_YSVAR** Línea 13: Número de clases/fracciones de sedimentos. **MF\_NFRAC** Línea 14: Fórmula de concentración de equilibrio. **ISSTF** Línea 15: Densidad de los sedimentos para cada clase/fracción de sedimento. **SSDEN(1) ... SSDEN (MF\_NFRAC)** Línea 16: Concentración inicial de sedimentos para cada clase/fracción de sedimento en el lecho. **INICON(1) ... INICON (MF\_NFRAC)** Línea 17: Tamaño del diámetro de los sedimentos para cada fracción. **DIAMETER(1) ... DIAMETER (MF\_NFRAC)** Línea 18: Porosidad para cada fracción. **SSPOR(1) ... SSPOR(NSSNFRAC)** Línea 19: Esfuerzo crítico de Shields para cada clase/fracción de sedimento. **THETAC (1) ... THETAC (MF\_NFRAC)** Línea 20: Ángulo de fricción para cada fracción. **FRICANG (1) ... FRICANG (MF\_NFRAC)** Línea 21: Factor de la fórmula de concentración de equilibrio para cada clase/fracción de sedimento. **SSTFACT(1) ... SSTFRACT(MF\_NFRAC)** Línea 22: Fórmula de velocidad de sedimentación. **SETFOR** Línea 23: Factores de la fórmula de velocidad de sedimentación para cada clase/fracción de sedimento. **SETFORFACT(1) ... SETFORFACT(MF\_NFRAC)** Línea 24: Fracciones de tamaño en el lecho. **BEDFRACT(1) ... BEDFRACT(MF\_NFRAC)** Línea 25: Factor de presión de poros y densidad de referencia. **MF\_POREFACT MF\_REFDENS** Línea 26: Parámetros para la fórmula de fricción viscoplástica de Coulomb de Herschel-Bulkley. **MF\_HBM MF\_HBMUP** Línea 27: Nombre del archivo de tabla de concentración volumétrica frente a viscosidad. **MF\_CVSVISCFIL** Línea 28: Nombre del archivo de tabla de concentración volumétrica frente a esfuerzo de fluencia. **MF\_CVVSYSFILE**

### 15.17.1 Ejemplo de un archivo .MUD

```

1
300.
0.00899
3.5
2200.
0.35
19
13
0
0
0.000126478743864984 33.1 0.11425789333746 29.5
1 1
2
0
2650 2650
0.2 0.2
0.01 0.001
0.4 0.4
0.047 0.047
35 35
1 1
9
1 1
0.7 0.3
1 1000
0.3 5.1
CV_VS_Viscosity_Table.TXT
CV_VS_YieldStress_Table.TXT

```

- **BEDFRACT(I):** R; (0, 1]& -& Fracción de sedimento en la capa del lecho. La suma de todas las fracciones debe ser igual a 1.
- **DIAMETER:** R; > 0; m or in; Tamaño del sedimento.
- **DUMMY1, DUMMY2:** R; > 0; -; No se utilizan en esta versión, pero deben estar presentes.
- **FRICANG:** R; 5-45; -; Ángulo de fricción. Véase el comentario 1.
- **MF\_ALFAV:** R; > 0; Pa.s; Alfa en la fórmula exponencial para la viscosidad en Pa.s, independientemente de si el proyecto general utiliza unidades inglesas o métricas. Véase el comentario 2.



- **MF\_ALFAYS:** R;  $> 0$ ; Pa; Alfa en la fórmula exponencial para el esfuerzo de fluencia en Pa, independientemente de si el proyecto general utiliza unidades inglesas o métricas. Véase el comentario 2.
- **MF\_BETAV:** R;  $> 0$ ; -; Beta en la fórmula exponencial para la viscosidad.
- **MS\_BETAYS:** R;  $> 0$ ; -; Alfa en la fórmula exponencial para el esfuerzo de fluencia.
- **MF\_BVIS:** I;  $> 0$ ; Poise or lb/in<sup>2</sup>; Viscosidad de Bingham.
- **MF\_COV:** I; 0, 1, 2; -
- Modelo de propiedades constantes
- Modelo de propiedades variables
- Modelo de propiedades variables considerando la evolución de la fracción del lecho
- **MF\_CV:** I; (0, 0.7]; -; Concentración por volumen.
- **MF\_DENS:** R;  $> 0$ ; kg/m<sup>3</sup> or lb/ft<sup>3</sup>; Densidad del material.
- **MF\_FRR:** I; 1-9; -; Relación de resistencia al flujo (véase la Tabla ).
- **MF\_HBM:** R; [0.2,3]; -; Índice de comportamiento adimensional para la fórmula de fricción de Coulomb viscoplástica de Herschel-Bulkley “m” (véase la Tabla ). Los valores típicos están entre 0.2 y 3. Se aplica únicamente cuando MF\_FRR = 9.
- **MF\_HBMUP:** R; [0.001,10] Pa/s<sup>m</sup>; Pa/s<sup>m</sup> or lb/(ft<sup>2</sup>s<sup>m</sup>); Factor de consistencia para la fórmula de fricción de Coulomb viscoplástica de Herschel-Bulkley (véase la Tabla ). Los valores típicos están entre 0.001 y 10 Pa/s<sup>m</sup>. Se aplica únicamente cuando MF\_FRR = 9.
- **MF\_NFRAC:** I; 1-10; -; Número de fracciones de sedimento.
- **MF\_POREFACT:** R; [1, 1.8]; -; Es el coeficiente  $\gamma_{pp}$  para estimar el exceso de presión de poros sobre la presión hidrostática del fluido y su valor predeterminado es 1. (Véase la Ecuación ).
- **MF\_REFDENS:** R;  $> 0$ ; kg/m<sup>3</sup> or lb/ft<sup>3</sup>; Densidad de referencia que, de forma predeterminada, es igual a la densidad del agua. Siempre debe ser  $\geq$  la densidad del agua. (Véase la Ecuación ).
- **MF\_THETA:** R;  $> 0$ ; Degrees; Ángulo de fricción interna.
- **MF\_VISCVAR:** I; 1, 2, 3; -; Cuando se selecciona la viscosidad variable en el panel DIP, este valor es 2. Cuando NO se selecciona la viscosidad variable en el panel DIP, este valor es 1. Cuando se selecciona Viscosity Table en el panel DIP, el valor es 3.
- Viscosidad constante,
- Viscosidad variable según la fórmula exponencial. Viscosity = MF\_ALFAV \* Exp(MF\_BETAV \* Cv).
- El modelo interpolará la viscosidad a partir de una tabla de Concentración por volumen frente a Viscosidad. La tabla debe proporcionarse en un archivo definido en la línea 27. Véase el formato del archivo en la sección siguiente.

- **MF\_YS:** R; > 0; Pa or lb/in<sup>2</sup>; Esfuerzo de fluencia.
- **MF\_YSVAR:** I; 1,2, 3; -; Cuando se selecciona el esfuerzo de fluencia variable en el panel DIP, el valor es 2. Cuando NO se selecciona el esfuerzo de fluencia variable en el panel DIP, este valor es 1. Cuando se selecciona Yield Stress Table en el panel DIP, el valor es 3.
- Esfuerzo de fluencia constante.
- Esfuerzo de fluencia variable según la fórmula exponencial  $Y_s = MF\_ALFAYS * \exp(MF\_BETAYS * C_v)$ .
- El modelo interpolará el esfuerzo de fluencia a partir de una tabla de Concentración por volumen frente a Esfuerzo de fluencia. La tabla debe proporcionarse en un archivo definido en la línea 28. Véase el formato del archivo en la sección siguiente.
- **MF\_CVSVISCFIL:** S; < 26; -; Nombre del archivo de la tabla de concentración volumétrica frente a viscosidad.
- **MF\_CVVSYSFIL:** S; < 26; -; Nombre del archivo de la tabla de concentración volumétrica frente a esfuerzo de fluencia. INICON &R >= & Concentración volumétrica inicial de sedimentos  $C_v$  para cada fracción del lecho. La suma de todas las concentraciones iniciales debe ser menor que 0.8. Estos valores solo se utilizan si no existe un archivo. Las concentraciones iniciales de sedimentos se establecerán de acuerdo con el archivo si este se proporciona.
- **ISSETFOR:** I; 1-9; -; Fórmula de velocidad de sedimentación. Es una fórmula única para todas las fracciones. Este código indica la fórmula de acuerdo con la siguiente lista:
  - Rubey (1983),
  - Zhang (1961),
  - Zanke (1977).
  - Van Rijn (1984a),
  - Raudkivi (1990),
  - Julien (1998),
  - Cheng (1997),
  - Jimenez-Madsen (2003),
  - Wu-Wong (2006).
- **ISSTF:** I; 1-4; -; Fórmula de concentración de equilibrio. Es una fórmula única para todas las fracciones. Este código indica la fórmula de acuerdo con la siguiente lista:
  - Bagnold (1966),
  - Van Rijn (1984a),
  - Zhang Xie (1993),
  - Wu (2008).

. - **SETFORFACT**: R;  $\geq$  -; Factores de la fórmula de velocidad de sedimentación para cada clase/fracción de sedimento. Estos factores multiplican las velocidades de sedimentación calculadas mediante la fórmula seleccionada en ISETFOR. - **SSDEN**: R;  $> 0$ ; -; Densidad del sedimento para cada fracción. Véase el comentario 1. - **SSPOR**: R; [0.3-0.6]; -; Porosidad. Véase el comentario 1. - **SSTFACT**: R; [0,1]; -; Factor de la fórmula de concentración de equilibrio para cada fracción. Este factor es el parámetro  $\beta_p$  de la ecuación que multiplica la fórmula de concentración de equilibrio ISSTF. Véase el comentario 1. - **THETAC**: R; 0.03-0.06; -; Esfuerzo crítico de Shields. Véase el comentario 1.

## 15.17.2 Archivos de datos opcionales de viscosidad o esfuerzo de fluencia

Al seleccionar la opción Table en las listas desplegables Viscosity Calculation o Yield Stress Calculation, se debe proporcionar un archivo de datos que represente la variación de la viscosidad o del esfuerzo de fluencia con la concentración volumétrica Cv.

El formato del archivo es el siguiente

Línea 1: Número de puntos en la serie de datos. **NDATA** NDATA líneas que contienen **Cv(I) VARIABLE(I)** Donde VARIABLE(I) es la Viscosidad o el Esfuerzo de fluencia para el Cv(I) correspondiente.

### 15.17.2.1 Ejemplo de los archivos de datos de viscosidad o esfuerzo de fluencia

El siguiente ejemplo muestra unos datos de esfuerzo de fluencia en función de Cv, donde NDATA es 5 y hay 5 líneas con pares de Cv y Ys: 5

```
0.00 0.
0.20 0.1
0.30 150.
0.50 500.
0.65 1200.
```

### 15.17.2.2 Comentarios para el archivo .MUD

1. Las ecuaciones que describen las fuerzas tangenciales generadas por los esfuerzos pueden agruparse en la misma fórmula matemática a pesar de tener una naturaleza diferente. De esta manera, se pueden considerar varias formulaciones de esfuerzos cortantes: esfuerzo turbulento  $\tau_t$ , esfuerzo dispersivo  $\tau_d$ , esfuerzo de fricción de tipo Coulomb  $\tau_f$ , esfuerzo de fluencia  $\tau_y$  y esfuerzo viscoso  $\tau_\mu$ . La Tabla incluye términos de resistencia al flujo turbulento-colisional, esfuerzo de fluencia y flujo laminar en una ley reológica cuadrática, donde se supone un valor estándar de  $\kappa = 24$ . Esta tabla también incluye los parámetros de entrada requeridos para su cálculo.
2. Las fórmulas utilizadas en el modelo para calcular la viscosidad y el esfuerzo de fluencia basados en Cv utilizan coeficientes que siempre deben proporcionarse en unidades del SI.  
MF\_ALFAV: Al ajustar este parámetro, su valor debe expresarse en pascal-segundos (Pa.s).  
MF\_ALFAYS: Este parámetro debe proporcionarse en pascales (Pa).

Estos requisitos de unidades se aplican independientemente de si el proyecto general utiliza unidades inglesas.

- **Turbulento (predeterminado):**  $\tau_b = \tau_t$ ; 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:** Cuadrático;  $\tau_b = \tau_t + \tau_y + \frac{k}{8}\tau_\mu$ ; n de Manning, densidad, esfuerzo de fluencia, viscosidad
- **8:** Flujo granular;  $\tau_b = \tau_f$ ; ángulo de fricción, densidad. Para esta fórmula, el modelo establece internamente n de Manning = 0 para todas las celdas.
- **9:** Herschel - Buckley;  $\tau_b = \tau_f + (2 + 1/m)^m \mu_P (|U|/h)^m$ ,  $\tau_f = (\rho - \Gamma\rho_w)gh$  & Densidad, esfuerzo de fluencia, viscosidad. Para esta fórmula, el modelo establece internamente n de Manning = 0 para todas las celdas.

### 15.17.3 Archivo de datos de concentración inicial del módulo Mud and Tailings: .CINITIAL

El modelo RiverFlow2D permite definir áreas dentro de la malla que inicialmente contienen materiales con diferentes concentraciones. Por ejemplo, es posible considerar un embalse de agua con concentraciones volumétricas cero y depósitos de relaves con múltiples clases como estado inicial existente al comienzo de una simulación. Se supone que el agua o los relaves están sobre el terreno existente. Por lo tanto, estas condiciones corresponden al material en flujo y no a la caracterización del terreno inicial.

En el módulo MT, el usuario también puede introducir una *Supernatant Water Pond elevation*.

El usuario puede introducir polígonos en la capa *Initial Concentrations*, asignar la concentración volumétrica inicial para cada clase de sedimento y también la *Supernatant Water Pond elevation* ZWPOND en cada polígono. Al utilizar *Supernatant Water Pond elevation*, el modelo diluirá todas las concentraciones volumétricas proporcionadas para cada clase según el volumen de agua en cada celda perteneciente a ese polígono. Tenga en cuenta que, para los embalses de agua que no están sobre depósitos de relaves o los depósitos de relaves iniciales que no tienen agua sobrenadante, ZWPOND debe establecerse en -9999. Solo los estanques de agua sobre relaves deben proporcionar una elevación positiva en este archivo.

Cada polígono debe tener un archivo auxiliar proporcionado por el usuario que indique las concentraciones de la siguiente manera: Línea 1: Número de clases **MF\_NFRAC** A continuación, las concentraciones de MF\_NFRAC clases en líneas separadas

**Cv(1)**

**Cv(2)**

...

**Cv(MF\_NFRAC)** Donde Cv(i) es la concentración volumétrica inicial para la clase/fracción i. Tenga en cuenta que, cuando el fluido es agua clara, las concentraciones volumétricas deben establecerse

en cero para todas las clases.

El siguiente es un ejemplo del archivo auxiliar de concentraciones iniciales:

```
3
0.10
0.35
0.50
```

La primera línea de este archivo indica que hay 3 clases de sedimentos; la concentración volumétrica para la clase 1 es 0.10, para la clase 2 es 0.35 y la concentración para la clase 3 es igual a 0.50.

En una simulación con 3 clases y un reservorio de agua, el archivo sería el siguiente para un polígono sobre el reservorio de agua:

```
3
0.0
0.0
0.0
```

Indicando que la concentración para cada clase de sedimento es 0, lo que corresponde al agua.

Con la información proporcionada y el formato descrito anteriormente, el modelo creará el archivo que indica las concentraciones volumétricas iniciales y ZWPOND para cada celda basándose en los polígonos introducidos. Por lo tanto, el archivo resultante tendrá MF\_NFRAC+1 columnas y NELEM líneas, como se muestra a continuación: Línea 1: Número de versión del archivo

Para cada celda: Concentraciones iniciales separadas por espacios para cada fracción de sedimento y elevación del estanque. **Cv(1) Cv(2) ... Cv(MF\_NFRAC) ZWPOND**

#### 15.17.4 Archivo de datos de fracciones iniciales del lecho:

##### .FBINITIAL

El modelo RiverFlow2D permite definir distribuciones espaciales variables de los granos de sedimento en el lecho al utilizar los módulos Mud and Tailings (MT) o Sediment Transport (ST).

El usuario puede introducir polígonos en la capa *InitialBedFractions* y asignar a cada polígono un nombre de *bed fractions file* que contiene la fracción para cada tamaño de sedimento.

Cada polígono debe tener un archivo auxiliar proporcionado por el usuario que indique la fracción para cada clase de sedimento en el lecho, en una sola línea separada por espacios, de la siguiente manera: **Fb(1) Fb(2) ... Fb(MF\_NFRAC)** Donde Fb(i) es la fracción inicial para la clase/fracción i y MF\_NFRAC es el número de clases de sedimentos.

A continuación se muestra un ejemplo del archivo auxiliar de fracciones iniciales en un proyecto que considera tres clases de sedimentos en el lecho:

```
0.10 0.20 0.70
```

Tenga en cuenta que la suma de todas las fracciones siempre debe ser exactamente igual a 1.0.

Con la información proporcionada y el formato descrito anteriormente, el modelo creará el archivo que indica las fracciones iniciales en el lecho para cada celda basándose en los polígonos introducidos.

El archivo de fracciones iniciales del lecho escrito por el modelo contendrá NELEM líneas (una para cada celda), y cada línea tendrá la fracción separada por espacios para cada clase de tamaño, como se muestra a continuación: **Fb(1) Fb(2) ... Fb(MF\_NFRAC)** A todas las celdas que no estén

contenidas dentro de los polígonos de la capa *InitialBedFractions* se les asignarán las fracciones indicadas en el archivo.

Tenga en cuenta que, al utilizar la opción *Bed Fraction Evolution* o *Active Bed Layer*, el modelo tendrá en cuenta los cambios en los tamaños de grano del sedimento del lecho en el espacio y el tiempo durante la simulación.

### 15.17.5 Archivo de datos de condiciones hidráulicas iniciales del módulo Mud and Tailings: .INITIALSTATE

El modelo de propiedades variables MT de RiverFlow2D puede utilizar un archivo .INITIALSTATE para definir condiciones iniciales espacialmente variables de profundidad y velocidad del agua, como un flujo fluvial existente aguas abajo de una presa de relaves.

Utilice el siguiente procedimiento:

1. Ejecute una simulación base inicial que represente el flujo del río y cualquier otra condición existente antes de la falla de la presa. Ejecute la simulación durante el tiempo suficiente para permitir que el flujo se estabilice. Desactive las condiciones iniciales del depósito, como *Read initial water elevs. from FED file*, porque esta simulación debe establecer únicamente el flujo inicial del río mientras la presa permanece intacta.
2. Una vez completada la simulación base, abra la carpeta del proyecto y localice *mudInitialState.out*. Duplique este archivo y cambie el nombre de la copia utilizando el nombre del caso exportado seguido de la extensión .INITIALSTATE. Por ejemplo, si el nombre del caso exportado es Run2, cambie el nombre del archivo a Run2.INITIALSTATE.
3. Asegúrese de que el número de clases de materiales y las características de la malla sean idénticos en ambas simulaciones.
4. Configure y ejecute la simulación de falla de la presa con las elevaciones iniciales del depósito de relaves definidas mediante un ráster o polígonos *initialWSE*. Seleccione *Read initial water elevs. from FED file*, pero **no seleccione la opción Hotstart**. El modelo detecta automáticamente el archivo .INITIALSTATE correspondiente en la carpeta del proyecto y utiliza el estado almacenado en dicho archivo para cada celda que estaba húmeda al final de la simulación base. Las elevaciones iniciales del depósito de relaves se obtienen del ráster o los polígonos *initialWSE* especificados.

**Nota:** Este procedimiento no funciona cuando se selecciona la opción **Hotstart**.

## 15.18 Archivo del modelo Oil on Land: .OILP

Esta sección se aplica al modelo OilFlow2D. El archivo proporciona los parámetros necesarios para modelar el flujo de fluidos viscosos, incluido el petróleo, sobre terrenos complejos mediante el modelo OilFlow2D, y considera la transferencia de calor entre el petróleo en movimiento y el entorno, así como la dependencia de las propiedades del petróleo con respecto a la temperatura. Línea 1: Número de versión del archivo OILP. **OL\_FILEVERSION** Línea 2: Relación de resistencia al flujo. **OL\_FRR** Línea 3: Esfuerzo de fluencia. **OL\_YS** Línea 4: Viscosidad del fluido. **OL\_VIS** Línea 5: Ángulo de fricción interna. No se utiliza en esta versión. **OL\_THETA** Línea 6: Densidad del

petróleo. **OL\_DENS** Línea 7: Archivo de series temporales de temperatura. **OL\_TEMPTSERIES** Línea 8: Archivo de la tabla Temperatura - Viscosidad - Densidad. **OL\_TEMPVISCDENS** Línea 9: Opción de evaporación. **OL\_EVAPOPTION** Línea 10: Coeficientes de cálculo de la evaporación. **OL\_C1 OL\_C2** Línea 11: Velocidad del viento. **OL\_WINDVEL** Línea 12: Interruptor de opción de transferencia de calor. **OL\_HTOPTION** Línea 13: Formulación de la densidad. **OL\_DENSFOR** Línea 14: Parámetros de la formulación de la densidad. **RHO0 T0 Lambda OL\_DENSPAR4 ... OL\_DENSPAR10** Línea 15: Archivo de formulación de la densidad. **OL\_DENSFILENAME** Línea 16: Formulación de la viscosidad. **OL\_VISCFOR** Línea 17: Parámetros de la formulación de la viscosidad. **Av Bv OL\_VISCPAR3 ... OL\_VISCPAR10** Línea 18: Archivo de formulación de la viscosidad. **OL\_VISCFILENAME** Línea 19: Formulación del esfuerzo de fluencia. **OL\_YSFOR** Línea 20: Parámetros de la formulación del esfuerzo de fluencia. **Ays Bys Cys OL\_YS ... OL\_YS** Línea 21: Archivo de formulación del esfuerzo de fluencia. **OL\_YSFILENAME** Línea 22: Parámetros de transferencia de calor. **INI\_T\_OPTION INI\_T Hr T\_AIR Q\_RAD Cp OL\_MAXTEMP OL\_HT8 ... OL\_HT10** Línea 23: Archivo de parámetros ambientales. **OL\_ENVFILENAME** Línea 24: Opciones de parámetros ambientales. **OL\_ENVOPTIONS** Línea 25: Interruptor para celdas de frontera húmedas. **OL\_WETBOUNDARY** Línea 26: Interruptor para la capa inferior de agua. **OL\_WATERLAYER** Línea 27: Densidad del agua y coeficiente de fricción. **OL\_WATERRHO OL\_CD** Línea 28: Ruta a los archivos .textout hidrodinámicos del agua. **OL\_WATERPATH** Línea 29: Número total de archivos .textout. **OL\_NFTEXOUR** Línea 30: Intervalo de tiempo de los archivos .textout. **OL\_TEXTOUTDT** Línea 31: Interruptor de retención del petróleo y profundidad de retención. **OL\_RETOPT OL\_HRETENTION**

### 15.18.1 Ejemplo de un archivo .OILP

```

202405
3
1.
0.00899
1
2200.
Temptseries.TXT
Tempviscdensetable.TXT
1
0.018 10
2.25
1
1
0.1 0.2 0.3 0.4 0. 0. 0. 0. 0. 0.
densityfile.txt
1
0.11 0.12 0.13 0.14 0. 0. 0. 0. 0. 0.
Viscosityfile.txt
1
-0.0196 1.3575 -20.454 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.

```

```

YSfile.txt
0 30.0 0.3 25.0 300. 1900. 180. 0. 0. 0.
EnvironmentalParameters.txt
2
0
0
1000. 10.
Path
10
2.0
0 0.0

```

- **Av, Bv:** R; -; -; Constantes de regresión para la fórmula de viscosidad de Andrade  $\mu = e^{[Av + (Bv/T)]}$  aplicada cuando OL\_VISCFOR = 1.
- **Ays, Bys, Cys:** R; -; -; Constantes de regresión en la fórmula del esfuerzo de fluencia  $Y_s = 10^{(AysT^2 + BysT - Cys)}$  cuando OL\_YSFOR = 1.
- **Lambda ( $\Lambda_p$ ):** R; > 0; -; Gradiente de temperatura en la fórmula de Arafin et al.  $\rho(T) = \rho_0 + \Lambda_p(T - T_0)$  cuando OL\_DENSFOR = 1.
- **Cp:** R; > 0; J/kg°C o BTU/lb°F; Capacidad calorífica o calor específico. Si Q\_RAD se establece en -1, el modelo utilizará el Cp leído del archivo de parámetros ambientales indicado en la línea 22.
- **Hr:** R; [0, 1]; -; Humedad relativa expresada como una fracción de 1.
- **INI\_T:** R; > 0; °C o °F; Temperatura inicial constante (si INI\_T\_OPTION=1).
- **INI\_T\_OPTION:** I; 0, 1; -; Interruptor para elegir entre una distribución de temperatura constante (0) o una temperatura distribuida espacialmente (1) leída del archivo .tinitial.
- **OL\_C1, OL\_C2:** R; > 0; -; Coeficientes de cálculo de la evaporación utilizados para calcular la viscosidad y la densidad de acuerdo con las ecuaciones correspondientes. Utilice OL\_C1 = 0.018 y OL\_C2 = 10.
- **OL\_DENS:** R; > 0; kg/m³ o lb/ft³; Densidad del fluido que se utilizará en el modelo básico si no se proporcionan las líneas correspondientes al archivo de la tabla temperatura-viscosidad-densidad ni al archivo de datos de temperatura.
- **OL\_DENSFILENAME:** S; -; -; Archivo de formulación de la densidad. Se utilizará en futuras actualizaciones para la opción de interpolación y contiene una tabla de temperatura frente a densidad.
- **OL\_DENSFOR:** I; 1,2,3; -; Formulación de densidad utilizada en el modelo de transferencia de calor.
- Formulación de Arafin et al. 2006:  $\rho(T) = \rho_0 + \Lambda_p(T - T_0)$ , con  $\rho_0$  en kg/m³ o lb/ft³,  $T_0$  en °C o °F, y  $\Lambda_p$  en kg/m³°C o lb/ft³°F.



- Formulación de densidad de Arafin para la densidad. El modelo no incorpora la variable de densidad en las ecuaciones.
- La densidad se establece mediante interpolación a partir de la tabla proporcionada en OL\_DENSFILENAME. En este caso, el modelo no incorpora la densidad variable en las ecuaciones, ya que esta viene dada por los valores de la tabla para una temperatura determinada.
- **OL\_DENSPAR4..10:** R; -; -; Parámetros de la formulación de densidad que se añadirán en futuras actualizaciones para fórmulas alternativas.
- **OL\_ENVFILENAME:** S; -; -; Archivo de datos de parámetros ambientales. Consulte la descripción detallada a continuación. El modelo utilizará los datos de este archivo siempre que OL\_ENVFILENAME esté presente en la carpeta del proyecto.
- **OL\_EVAPOPTION:** R; 0, 1, 2; -; Opción de cálculo de la evaporación:
  - No se calcula la evaporación,
  - Se calcula la tasa de evaporación y se estiman las propiedades de acuerdo con la tabla de densidad y viscosidad proporcionada,
  - Se calcula la tasa de evaporación y el modelo calcula las propiedades mediante una fórmula.
- **OL\_FRR:** I; 3; -; Relación de resistencia al flujo. (consulte la tabla )
- **OL\_HTOPTION:** I; 0, 1; -; Interruptor entre el modelo básico y el modelo de transferencia de calor:
  - Modelo básico. No se calcula la transferencia de calor,
  - Modelo de transferencia de calor.
- **OL\_HT8..10:** R; -; -; Parámetros de transferencia de calor que se añadirán en futuras actualizaciones.
- **OL\_MAXTEMP:** R; > 0; °C o °F; Temperatura máxima del petróleo permitida.
- **OL\_RETOPT:** I; 0,1; -; Interruptor de retención superficial. La retención del petróleo por el suelo se desactivará cuando este interruptor se establezca en 0 y, si se establece en 1, el petróleo será retenido por el terreno hasta la profundidad indicada por OL\_RETOPT.
- **OL\_HRETENTION:** R; >= 0; -; Profundidad de retención superficial aplicable a todas las celdas. Es la variable  $h_{retention}$  en la ecuación. El modelo puede considerar una retención de petróleo espacialmente variable si el archivo .deteninitial existe en la carpeta del escenario. Tenga en cuenta que OL\_HRETENTION debe ser del orden de milímetros, ya que el modelo supone que la velocidad es 0 para toda profundidad de petróleo inferior a su valor. Consulte el formato del archivo .deteninitial a continuación.
- **OL\_TEMP SERIES:** S; ≤ 26; -; Archivo de series temporales de temperatura utilizado en el modelo básico.
- **OL\_TEMPVISCDENS:** S; ≤ 26; -; Archivo de la tabla temperatura-viscosidad-densidad. El modelo básico utilizará la temperatura correspondiente a un tiempo determinado para interpolar la viscosidad y la densidad.

- **OL\_THETA:** R; > 0; Grados; No se utiliza en esta versión.
- **OL\_VIS:** I; > 0; Pa-s o lb-s/in<sup>2</sup>; Viscosidad del fluido que utilizará el modelo básico si no se proporcionan las líneas correspondientes al archivo de la tabla temperatura-viscosidad-densidad ni al archivo de datos de temperatura.
- **OL\_VISCFilename:** S; -; -; Archivo de formulación de la viscosidad. Se utilizará en futuras actualizaciones para la opción de interpolación y contiene una tabla de temperatura frente a viscosidad.
- **OL\_VISCFOR:** I; 1,2; -; Formulación de viscosidad utilizada en el modelo de transferencia de calor.
- Formulación de Andrade  $\mu = e^{[Av+(Bv/T)]}$ , con  $Av$  en Pa-s o lb-s/in<sup>2</sup>,  $Bv$  en Pa-s/°C o lb-s/in<sup>2</sup>°F, y  $T$  es la temperatura del aceite en °K
- Determinado por interpolación a partir de la tabla proporcionada en el archivo OL\_VISCFilename.
- **OL\_VISCPAR3.10:** R; -; -; Parámetros de formulación de la viscosidad que se añadirán en futuras actualizaciones para fórmulas alternativas.
- **OL\_WINDVEL:** R;  $\geq 0$ ; m/s o ft/s; Velocidad del viento supuesta constante en el tiempo y el espacio, utilizada para calcular la tasa de evaporación en el modelo básico que no considera la transferencia de calor. Tenga en cuenta que, según la fórmula, si la velocidad del viento es cero, la tasa de evaporación también es cero.
- **OL\_YS:** R; > 0; Pa o lb/in<sup>2</sup>; Esfuerzo de fluencia utilizado en el modelo básico.
- **OL\_YSFilename:** S; -; -; Archivo de formulación del esfuerzo de fluencia. Contiene una tabla de temperatura frente al esfuerzo de fluencia.
- **OL\_YSFOR:** I; 1,2; -; Formulación del esfuerzo de fluencia en Pa o lb/in<sup>2</sup>.
- Formulación 1:  $Y_s = 10^{AysT^2+BysT-Cys}$ , con  $Ays$  en Pa/°C<sup>2</sup> o lb/in<sup>2</sup>°F<sup>2</sup>,  $Bys$  en Pa/°C o lb/in<sup>2</sup>°F, y  $Cys$  en Pa o lb/in<sup>2</sup>,
- Determinado por interpolación a partir de la tabla proporcionada en el archivo OL\_YSFilename.
- **OL\_ENVOPTIONS:** I; 0,1,2; -; Establece la opción para utilizar los parámetros ambientales.
- El modelo no calculará la transferencia de calor,
- Utilizar parámetros ambientales constantes introducidos en la línea 21 del archivo .OILP,
- Utilizar los parámetros definidos en el archivo OL\_ENVFilename.
- **OL\_YSPAR4.10:** R; -; -; Parámetros de formulación del esfuerzo de fluencia que se añadirán en futuras actualizaciones para fórmulas alternativas.
- **Q\_RAD:** R; > 0; W/m<sup>2</sup> o BTU/ft<sup>2</sup> s; Radiación solar. El valor constante Q\_RAD se utiliza si OL\_ENVOPTIONS está establecido en 1 (Constante).
- **RHO0 ( $\rho_0$ ):** R; > 0; kg/m<sup>3</sup> o lb/ft<sup>3</sup>; Densidad de referencia en la fórmula de Arafin et al.  $\rho(T) = \rho_0 + \Lambda_\rho(T - T_0)$  cuando OL\_DENSFOR = 1.

- **T0 (T<sub>0</sub>):** R; –; °C o °F; Temperatura de referencia en la fórmula de Arafin et al.  $\rho(T) = \rho_0 + \Delta\rho \cdot (T - T_0)$  cuando OL\_DENSFOR = 1.
- **T\_AIR:** R; –; °C o °F; Temperatura del aire. Si Q\_RAD se establece en -1, el modelo utilizará el T\_AIR leído del archivo de parámetros ambientales indicado en la línea 22.
- **OL\_WETBOUNDARY:** I; 0, 1; –; Interruptor para las celdas de contorno húmedas.
- No hay opciones para celdas húmedas.
- El modelo escribirá un archivo denominado wetBcells.out que contiene la lista de números de las celdas de contorno que están húmedas durante la ejecución.
- **OL\_WATERLAYER:** I; 0, 1; –; Interruptor para la capa inferior de agua.
- El modelo ignorará el flujo de aceite sobre el agua.
- El modelo considerará el flujo de aceite sobre el agua subyacente. Esto requiere una ejecución hidrodinámica previa del agua que determine el flujo de agua (consulte OL\_WATERPATH a continuación).
- **OL\_WATERRHO:** R; > 0; g/m<sup>3</sup> o lb/ft<sup>3</sup>; Densidad del agua.
- **OL\_CD:** R; 0.001 – 0.005; –; Coeficiente de arrastre adimensional entre el aceite y el agua.
- **OL\_WATERPATH:** S; –; –; Ruta a los archivos hydrodynamics cell\_time\_\*.textout. Estos archivos contienen los resultados de una ejecución hidrodinámica existente del agua.
- **OL\_NFTEXOUR:** I; –; –; Número de archivos hydrodynamics cell\_time\_\*.textout.
- **OL\_TEXTOUTD:** R; –; h; Intervalo de tiempo entre los archivos hydrodynamics cell\_time\_\*.textout.
- **2:** Bingham completo;  $\tau_b = \tau_0$  con  $f_1(\tau_b, \tau_0) = 0$ ; Viscosidad, esfuerzo de fluencia, densidad.
- **3:** Bingham simplificado;  $\tau_b = 1.5\tau_y + 3\tau_\mu$ ; Viscosidad, esfuerzo de fluencia, densidad.
- **7:** Cuadrático;  $\tau_b = \tau_t + \tau_y + \frac{\kappa}{8}\tau_\mu$ ; n de Manning, viscosidad, esfuerzo de fluencia, densidad.

#### 15.18.1.1 Archivo de series temporales de temperatura

Los archivos de series temporales de temperatura solo se utilizan en el modelo básico y contienen la temperatura ambiente para cada instante de la simulación. La primera línea contiene el número de líneas de la serie temporal, seguido de una lista de tiempo en horas frente a temperatura en grados Celsius o ^F, según el sistema de unidades utilizado.

El siguiente es un ejemplo de un archivo de series temporales de temperatura:

```

7
0.0 60
2.0 65
4.0 70
6.0 75
8.0 77
10.0 79
12.0 65

```

En este ejemplo hay 7 entradas en la serie temporal de temperatura. Para el instante inicial de 0.0 horas, la temperatura es de 60°F, y así sucesivamente.

### 15.18.2 Archivo de tabla de temperatura-viscosidad-densidad

Este archivo solo se utiliza en el modelo básico e incluye la viscosidad y la densidad para diferentes temperaturas. El modelo básico interpolará a partir de los valores de la tabla para asignar al aceite la viscosidad y densidad correspondientes a la temperatura actual.

El siguiente es un ejemplo de un archivo de temperatura-viscosidad-densidad:

```
2
50 1.38E-06 58.00
120 6.94E-07 56.00
```

En este ejemplo hay 2 líneas en el archivo de tabla de temperatura-viscosidad-densidad. A 50°F, la viscosidad es  $1.38 \times 10^{-6}$  lb-s/in<sup>2</sup> y la densidad es 50 lb/ft<sup>3</sup>.

### 15.18.3 Archivo de series temporales de temperatura frente a densidad

El archivo de series temporales de temperatura solo se utiliza en el modelo de transferencia de calor y contiene una tabla de temperatura y la densidad de aceite correspondiente para cada instante de la simulación. La primera línea contiene el número de líneas de la serie temporal, seguido de una lista de temperatura y densidad. Este archivo es opcional y solo será necesario al seleccionar la opción de interpolación para la densidad.

El siguiente es un ejemplo de un archivo de series temporales de temperatura frente a densidad:

```
8
10 1010
15 1004
20 998
22 995
25 980
30 975
35 970
40 960
```

### 15.18.4 Archivo de series temporales de temperatura frente a viscosidad

El archivo de series temporales de temperatura solo se utiliza en el modelo de transferencia de calor y contiene una tabla de temperatura y la viscosidad dinámica del aceite correspondiente para cada instante de la simulación. La primera línea contiene el número de líneas de la serie temporal, seguido de una lista de temperatura y viscosidad dinámica. Este archivo es opcional y solo será necesario al seleccionar la opción de interpolación para la viscosidad.

El siguiente es un ejemplo de un archivo de series temporales de temperatura frente a viscosidad:

```

8
10 0.10
15 0.09
20 0.07
22 0.04
25 0.02
30 0.009
35 0.0084
40 0.007

```

### 15.18.5 Archivo de series temporales de temperatura frente a esfuerzo de fluencia

El archivo de series temporales de temperatura solo se utiliza en el modelo de transferencia de calor y contiene una tabla de temperatura y el esfuerzo de fluencia del aceite correspondiente para cada instante de la simulación. La primera línea contiene el número de líneas de la serie temporal, seguido de una lista de temperatura y esfuerzo de fluencia. Este archivo es opcional y solo será necesario al seleccionar la opción de interpolación para el esfuerzo de fluencia.

El siguiente es un ejemplo de un archivo de parámetros ambientales:

```

9
0.00 2000.0
35.00 2000.0
37.50 1000.0
40.00 200.0
42.50 80.0
45.00 20.0
47.50 1.0
50.00 0.020
100.00 0.020

```

### 15.18.6 Archivo de series temporales de parámetros ambientales

Este archivo contiene parámetros ambientales que afectan la transferencia de calor del aceite. La primera línea contiene el número de líneas con datos. Luego, cada línea subsiguiente incluye el tiempo en horas, la velocidad del viento (m/s o ft/s), la humedad relativa (0-1), la temperatura del aire ( $^{\circ}\text{C}$  o  $^{\circ}\text{F}$ ) y la radiación solar ( $\text{W}/\text{m}^2$  o  $\text{BTU}/\text{ft}^2$ ). El modelo utilizará los datos de este archivo si la radiación solar introducida en la línea 21 es igual a -1.

El siguiente es un ejemplo de un archivo de parámetros ambientales:

```

12
1 2.20 0.90 21.90 0.0
2 1.71 0.90 21.71 0.0
3 1.79 0.93 21.33 0.0
4 2.23 0.94 21.13 0.0

```

|    |      |      |       |       |
|----|------|------|-------|-------|
| 5  | 2.58 | 0.97 | 20.77 | 0.0   |
| 6  | 4.04 | 0.99 | 20.13 | 0.0   |
| 7  | 3.41 | 1.00 | 19.54 | 1.8   |
| 8  | 1.93 | 0.99 | 19.62 | 13.5  |
| 9  | 1.18 | 0.96 | 20.08 | 74.8  |
| 10 | 1.65 | 0.87 | 21.64 | 166.0 |
| 11 | 1.49 | 0.81 | 22.97 | 246.7 |
| 12 | 1.34 | 0.71 | 33.64 | 368.8 |

### 15.18.7 Archivo de datos de profundidad de retención de aceite: .DETENINITIAL

El propósito de este archivo es indicar la profundidad de retención de aceite (HRet) para cada celda, de modo que el modelo considere una profundidad de retención espacialmente variable.

#### Nota

NOTA: Es importante señalar que la profundidad de retención de aceite representa la profundidad mínima para el flujo de aceite. En consecuencia, la velocidad de las celdas con una profundidad de aceite menor que HRet será cero. Por este motivo, los valores de HRet deben ser del orden de milímetros.

El modelo puede crear este archivo basándose en los polígonos introducidos en el complemento de QGIS de RiverFlow2D a partir de los datos de la capa *Oil Retention*. El usuario puede introducir polígonos y asignar a cada polígono un nombre de archivo de profundidad de retención correspondiente.

Los archivos contendrán la lista de profundidades de retención, una por línea, para todas las celdas.

**HRet(1)**

**HRet(2)**

...

**HRet(NELEM)**

## 15.19 Archivo de aceite sobre agua: .OILW

Este archivo solo se aplica al modelo OilFlow2D. Este archivo proporciona los parámetros necesarios para modelar un derrame de aceite sobre agua mediante el modelo OilFlow2D. Línea 1:

**OILW\_VersionNumber**

Línea 2: **NSpillSites**

Línea 3: **[ControData]**

Línea 4: **Evaporation Switch**

Línea 5: **Emulsification Switch**

Línea 6: **Shoreline Switch**

Línea 7: **Dispersion Switch**

Línea 8: **Dissolution Switch**  
 Línea 9: **Sedimentation Switch**  
 Línea 10: **Simulation Time**  
 Línea 11: **Output Interval**  
 Línea 12: **Time Step**  
 Línea 13: **Wind Velocity File**  
 Línea 14: **Ambient Temperature File**  
 Línea 15: **Velocity Field Path**  
 Línea 16: **Velocity Field .OUTFILES**  
 Línea 17: **Grid Cell Factor (GCF)**  
 Line 18: **Interruptor del componente de barrera**  
 Line 19: **Coeficiente de velocidad del viento**

Para SpillSite 1 a NSpillSites

**ID del sitio de derrame**

**[Trajectory]**

**Densidad del agua**

**X Y Z**

**Número de parcelas**

**Densidad del petróleo**

**Viscosidad del petróleo**

**Tiempo inicial del derrame**

**Disp\_L Disp\_T Disp\_V**

**Archivo de volumen acumulado del derrame**

**Interruptor de derrame móvil**

**Archivo de liberación del derrame**

**0**

**0**

**0**

**0**

**0**

**0**

**0**

**0**

**[Evaporation]**

**Método de evaporación** // 1: Fingas; 2: Stiver-MacKay

**Oil ID**

**PD** Fracción másica destilada a 180oC.

**Kevp** // Coeficiente de transferencia de masa //Stiver-MacKay

**A** //Constante A de Stiver-MacKay

**B** //Constante B de Stiver-MacKay

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**[Emulsification]**

**Kemul**

**Yf**

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**[Dissolution]**

**Kdiss**

**S** // Solubilidad en agua

**So** // Solubilidad del petróleo fresco

**Alfa** // Constante de decaimiento

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**[Dispersion]**

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**[Sedimentation]**

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**0** // Para uso futuro

**[Shoreline]**

**BottomTrapping** // Opción de retención en el fondo

**ShoreTrapping** // Opción de retención en la orilla



**Interruptor de retención por vegetación****Interruptor de aplicación de dispersante****0** // Para uso futuro**0** // Para uso futuro**0** // Para uso futuro**0** // Para uso futuro**0** // Para uso futuro**0** // Para uso futuro

Fin de SpillSite

- **Número de versión:** I; -; -; Número entero que indica la versión del modelo.
- **NSpillSites:** I;  $\geq 1$ ; -; Número de sitios de derrame.
- **\*\*\*\*[CONTROLDATA]:\*\* & &** Grupo de datos de control común a todos los sitios de derrame.
- **Interruptor de barreras:** I; 0,1; -; 0: No se considerarán las barreras. 1: Barreras activadas.
- **Interruptor de evaporación:** I; 0,1; -; 0: No se calculará la evaporación. 1: Se calculará la evaporación.
- **Interruptor de emulsificación:** I; 0,1; -; 0: No se calculará la emulsificación. 1: Se calculará la emulsificación.
- **Interruptor de línea costera:** I; 0,1; -; 0: No se considerará la interacción del petróleo con las orillas. 1: Se considerará la interacción del petróleo con las orillas.
- **Interruptor de dispersión:** I; 0,1; -; 0: No se calculará la dispersión del petróleo. 1: Se calculará la dispersión del petróleo.
- **Interruptor de disolución:** I; 0,1; -; 0: No se considerará la disolución. 1: Se considerará la disolución.
- **Interruptor de sedimentación:** I; 0,1; -; 0: No se calculará la sedimentación del petróleo. 1: Se calculará la sedimentación del petróleo.
- **Tiempo de simulación:** R;  $> 0$ ; h.; Tiempo total de simulación en horas.
- **Intervalo de salida:** R;  $> 0$ ; h.; Intervalo de salida de informes en horas.
- **Paso de tiempo:** R;  $> 0$ ; s.; Paso de tiempo que se utilizará en la solución numérica del algoritmo de seguimiento de partículas.
- **Factor de celda de la cuadrícula (GCF):** R;  $> 0$ ; -; Este factor se utiliza para construir una cuadrícula virtual sobre la malla, que se emplea para optimizar el algoritmo de localización de partículas. El tamaño de la cuadrícula es igual a  $GCF * \text{Tamaño mínimo de celda}$ . El programa determinará todas las celdas de la malla que se encuentren dentro de cada elemento de la cuadrícula. De este modo, el algoritmo de búsqueda localizará primero la partícula dentro del elemento de la cuadrícula y, después, para determinar en qué celda se encuentra la partícula, buscará únicamente entre las celdas de ese elemento, reduciendo así el tiempo de búsqueda. Cuanto mayores sean los valores de GCF, más celdas habrá en cada elemento

de la cuadrícula, lo que hará que la búsqueda sea menos eficiente. El valor predeterminado es 20, lo que construirá elementos de cuadrícula 20 veces mayores que el tamaño mínimo de celda.

- **Archivo de velocidad del viento:** S; -; -; Nombre del archivo de velocidad del viento. Consulte la sección sobre el formato del archivo de velocidad del viento.
- **Archivo de temperatura:** S; -; -; Nombre del archivo de temperatura ambiente. Consulte la sección sobre el formato del archivo de temperatura ambiente.
- **Ruta del campo de velocidades:** S; -; -; Ruta donde se encuentran los resultados de los archivos del campo de velocidades.
- **ID del sitio de derrame:** S;  $\leq 26$ ; -; Nombre del sitio de derrame.
- \*\*\*\*[TRAJECTORY]&:\*\* & Grupo de datos de trayectoria para cada sitio de derrame. \*\*\*\*
- **Densidad del agua:** R;  $\geq 0$ ;
- **X Y Z:** R; -; ft. - m.; Coordenadas del sitio de derrame.
- **Nparcels:** I;  $> 0$ ; -; Número de parcelas o partículas que representan el derrame.
- **Densidad del petróleo:** R;  $> 0$ ; API; Densidad inicial del petróleo en el momento del derrame.
- **Viscosidad del petróleo:** R;  $> 0$ ; cP - lb-s/ft<sup>2</sup>; Viscosidad inicial del petróleo en el momento del derrame.
- **Tiempo inicial del derrame:** R;  $> 0$ ; h.; Viscosidad inicial del petróleo en el momento del derrame.
- **Disp\_L:** R;  $> 0$ ; ft<sup>2</sup>/s - m<sup>2</sup>/s; Coeficiente de dispersión longitudinal.
- **Disp\_T:** R;  $> 0$ ; ft<sup>2</sup>/s - m<sup>2</sup>/s; Coeficiente de dispersión transversal.
- **Disp\_V:** R;  $> 0$ ; ft<sup>2</sup>/s - m<sup>2</sup>/s; Coeficiente de dispersión vertical.
- **Archivo de volumen acumulado del derrame:** S; -; c-; Archivo de volumen del derrame. Consulte el formato en la sección .
- **SpillReleaseSwitch:** I; 0,1; -; Interruptor de trayectoria del derrame. 0 indica un derrame en un punto fijo, 1 indica que la trayectoria del derrame estará dada por el archivo de volumen SpillReleaseFile.
- **SpillReleaseFile:** S; -; c-; Archivo de trayectoria de liberación del derrame. Consulte el formato en la sección .
- \*\*\*\*[EVAPORATION]&:\*\* & Grupo de datos de evaporación para cada sitio del derrame. \*\*
- **Método de evaporación:** I; 1,2; -; 1: Fingas; 2: Stiver-MacKay.
- **OilID:** I; -; -; ID del petróleo para el método de Fingas seleccionado en la lista desplegable.
- **PD:** R; [0,1]; -; Fracción en peso destilada a 180°C.

- **Kevap:**  $R; \geq 0; -$ ; Coeficiente de transferencia de masa.
- **A:**  $R; \geq 0; -$ ; Constante A de Stiver-MacKay.
- **B:**  $R; \geq 0; -$ ; Constante B de Stiver-MacKay.
- \*\*\*\*[EMULSIFICATION]&:\*\* &; Grupo de datos de emulsificación para cada sitio del derrame.  
\*\*
- **Kemul:**  $R; \geq 0; -$
- **Yf:**  $R; \geq 0; -$
- \*\*\*\*[DISSOLUTION]&:\*\* &; Grupo de datos de disolución para cada sitio del derrame.
- **Kdiss:**  $R; \geq 0;$
- **S:**  $R; \geq 0; \&$  Solubilidad en agua.
- **So:**  $R; \geq 0; \&$  Solubilidad del petróleo.
- **Alpha:**  $R; \geq 0; \&$  Constante de decaimiento.
- \*\*\*\*[SHORELINE]&:\*\* &; Grupo de datos de interacción con la orilla y el fondo para cada sitio del derrame.
- **BottomTrapping:**  $I; 0,1; -; 0$ : Las partículas no quedarán atrapadas cuando lleguen al fondo (predeterminado). 1: Las partículas de petróleo quedarán adheridas permanentemente al fondo tan pronto como lo toquen.
- **Interruptor de atrapamiento por vegetación:**  $I; 0,1; -; 0$ : Las partículas no quedarán atrapadas por la vegetación. 1: Las partículas de petróleo quedarán adheridas a las celdas pertenecientes a los polígonos de vegetación.
- **Interruptor de aplicación de dispersante:**  $I; 0,1; -; 0$ : No se simularán dispersantes, 1 indica que se simularán dispersantes. \*\*\*\*

### 15.19.1 Ejemplo de un archivo .OILW

```

201910 // versión
1 // NSpillSite
[ControlData]
0 // Interruptor de evaporación
0 // Interruptor de emulsificación
0 // Interruptor de la orilla
0 // Interruptor de dispersión
0 // Interruptor de disolución
0 // Interruptor de sedimentación
5 // Tiempo de simulación
0.1 // Intervalo de salida
10.0 // Paso de tiempo

```

```
Wind.DAT
Temperature.DAT
C:/Users/Hydronia Dell/Documents/Magdalena
base.OUTFILES // Archivos de salida del campo de velocidades
100 // Factor de celdas de la malla
0 // Componente de barrera desactivado
0 // Coeficiente de velocidad
OilSpill_1
[Trajectory]
1000.00 // Densidad del agua
925018.358 1707701.919 0.000 // X Y Z
1000 // Nparcelos
40.00 // Densidad del petróleo
15.000 // Viscosidad del petróleo
1.00 // TiempoInicial del derrame
1.000 1.000 0.001 // Disp_L Disp_T Disp_V
OilSpill_1.txt
0 // Interruptor de derrame móvil
0 // Archivo de liberación del derrame
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
[Evaporation]
1 MétodoDeEvaporación // 1: Fingas; 2: Stiver-MacKay
1 // Petróleos
40.00 PD // porcentaje (en peso) destilado a 180oC.
0.0025 // Kevp (coeficiente de transferencia de masa) // Stiver-MacKay
6.30 // A Stiver-MacKay
10.0 // B Stiver-MacKay
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
[Emulsification]
0.000002 // Kemul
0.7 // Yf
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
```

```
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
[Dissolution]
1.00 // Kdiss
0.00 // S Solubilidad en agua
0.0184 // So Solubilidad del petróleo fresco
0.423 // Alfa Constante de decaimiento
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
[Dispersion]
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
[Sedimentation]
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
[Shoreline]
0 // Sin atrapamiento en el fondo
1 // Activar atrapamiento en la orilla
0 // Interruptor de atrapamiento por vegetación
0 // Interruptor de aplicación de dispersante
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
0 // Para uso futuro
```

0 // Para uso futuro

0 // Para uso futuro

### 15.19.2 Archivo de entrada de volumen acumulado

Este archivo especifica los volúmenes liberados en el derrame para cada instante. Independientemente del sistema de unidades del proyecto, los volúmenes deben proporcionarse en barriles (bbl).

El formato es el siguiente

Línea 1: Número de puntos de la serie temporal de volumen acumulado del derrame. **NPOINTS**

Líneas NPOINTS que contienen: Tiempo y volumen acumulado. **TIME ACCVOL**

### 15.19.3 Ejemplo de un archivo de volumen acumulado

```
3
0. 0.
2. 3000
10. 20000
```

- **NPOINTS:** I;  $\geq 1$ ; -; Número de puntos de datos de la serie temporal.
- **TIME:** R;  $\geq 0$ ; h; Tiempo.
- **ACCVOL:** R; -; bbl; Volumen acumulado del derrame hasta este instante. Tenga en cuenta que es obligatorio que el volumen acumulado indicado para un instante sea siempre mayor o igual que el volumen acumulado indicado para el instante anterior.

### 15.19.4 Archivo de liberación del derrame

Este archivo especifica la trayectoria de liberación del derrame. El derrame se liberará a lo largo de la trayectoria definida en este archivo. El formato es el siguiente

Línea 1: Número de puntos de la serie temporal de liberación del derrame. **NPOINTS** Líneas NPOINTS que contienen: Tiempo y coordenada del punto **TIME Xp Yp**

### 15.19.5 Ejemplo de un archivo de liberación del derrame

```
5
0.0  923730.325    1710175.128
0.5  923408.268    1710245.895
1.0  923192.219    1710246.443
1.5  923022.774    1710195.172
2.0  922888.358    1710131.769
```

- **NPOINTS:** I;  $\geq 1$ ; -; Número de puntos de datos de la serie temporal.
- **TIME:** R;  $\geq 0$ ; h; Tiempo.
- **Xp:** R; -; ft - m; Coordenada X de este punto del derrame.
- **Yp:** R; -; ft - m; Coordenada Y de este punto del derrame.

## 15.20 Archivo de datos del módulo de transporte de contaminantes: .SOLUTES

El módulo de transporte de contaminantes calcula la concentración de contaminantes pasivos o reactivos (solutos) basándose en la advección y la dispersión. Los datos requeridos se incluyen en el archivo de datos que tiene el siguiente formato: Línea 1: Número máximo de contaminantes (solutos) **NP\_MAX** Línea 2: Número de contaminantes utilizados en la ejecución **NP\_USED** Línea 3: Lista de solutos utilizados (todos en una línea) **I(1) I(2) ... I(NP\_USED)** Línea 4: Coeficientes de dispersión longitudinal y transversal **DISPL DISPT** Línea 5...: Lista de nombres de contaminantes (uno en cada línea) **NAME\_I1 NAME\_I1 ... NAME\_NP\_MAX** Línea 6 a NP\_MAX+6: matriz de coeficientes de velocidad de reacción de primer orden  $K(I,J)$  **K(1,1) K(1,2) ... K(1,NP\_MAX) K(2,1) K(2,2) ... K(2,NP\_MAX) ... K(NP\_MAX,1) K(NP\_MAX,2) ... K(NP\_MAX,NP\_MAX)**

### 15.20.1 Ejemplo de un archivo .SOLUTES

```

5
4
1 2 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

```

& Hay cinco contaminantes - **4**: Se utilizarán cuatro contaminantes en esta ejecución - **1 2 4 5**: Los contaminantes activos serán 1, 2, 4 y 5 - **0.10.02**: El coeficiente de dispersión longitudinal es 0.1 y el transversal = 0.02. - **NITRATE**: El nombre del contaminante n.º 1 es: NITRATE - **AMMONIUM**: El nombre del contaminante n.º 2 es: AMMONIUM - **TEMPERATURE**: El nombre del contaminante n.º 3 es: TEMPERATURE - **CHLORINE**: El nombre del contaminante n.º 4 es: CHLORINE - **PHOSPHATE**: El nombre del contaminante n.º 5 es: PHOSPHATE - **0.20.00.00.00.0**: La constante de reacción de primer orden del contaminante n.º 1 es 0.2 - **0.00.10.00.00.0**: La constante de reacción de primer orden del contaminante n.º 2 es 0.1 - **0.00.01.10.00.0**: La constante de reacción de primer orden del contaminante n.º 3 es 1.1 - **0.00.00.00.20.0**: La constante de reacción de primer orden del contaminante n.º 4 es 0.2 - **0.00.00.00.00.5**: La constante de reacción de primer orden del contaminante n.º 5 es 0.5

- **DISPL**: R; > 0; m<sup>2</sup>/s o ft<sup>2</sup>/s; Coeficiente de dispersión longitudinal.
- **DISPT**: R; > 0; m<sup>2</sup>/s o ft<sup>2</sup>/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 del contaminante I y K(I,J) es la constante de reacción del contaminante I con el contaminante J.
- **NP\_MAX:** I; > 0; -; Número máximo de contaminantes.
- **NP\_USED:** I; > 0; -; Número de contaminantes utilizados en la ejecución actual.

### 15.20.2 Archivo de datos de concentración inicial del módulo de transporte de contaminantes: .CINITIAL

El archivo de datos de concentración inicial se crea cuando el conjunto de datos con las concentraciones iniciales se exporta desde el complemento de QGIS RiverFlow2D, basándose en los datos introducidos en la capa *Initial Concentrations*. El usuario puede introducir polígonos y asignar a cada polígono el nombre de archivo de concentración inicial correspondiente. El formato de estos archivos es el siguiente: Línea 1: Concentraciones iniciales separadas por espacios para cada contaminante. **C(1) C(2)...C(NP\_MAX)** Donde C(i) es la concentración inicial del contaminante i. Con esta información, el modelo determinará las concentraciones iniciales de cada celda basándose en los polígonos introducidos. A todas las celdas que no estén contenidas dentro de los polígonos de la capa *InitialConcentrations* se les asignarán concentraciones iniciales cero. Por lo tanto, el archivo tendrá NP\_MAX columnas y NELEM líneas.

#### Nota

Las unidades de concentración de los contaminantes son arbitrarias. El usuario puede utilizar concentración volumétrica Cv (fracción de 1), mg/l, ppt, ppm o cualquier otra unidad adecuada, siempre que las condiciones de contorno de entrada sean coherentes.

## 15.21 Archivos de datos de transporte de sedimentos: .SEDS y .SEDB

Estos archivos proporcionan los parámetros necesarios para modelar el transporte de sedimentos utilizando el modelo RiverFlow2D.

### 15.21.1 Archivo .SEDS para datos de sedimentos en suspensión

El archivo proporciona los datos para el modelo de transporte de sedimentos en suspensión. Línea 1: Interruptor de opción de sedimentos en suspensión. **ISSACT** Línea 2: Número de clases/fracciones de sedimentos 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 sedimentos en suspensión para cada clase/fracción de sedimento. **INICON(1) ... INICON(NSSNFRAC)** Línea 6: Para uso futuro. **DUMMY1(1) ... DUMMY1(NSSNFRAC)** Línea 7: Tamaño D50 de los sedimentos en suspensión para cada clase/fracción de sedimento. **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



crítico de Shields para cada clase/fracción de sedimento. **THETAC(1) ... THETAC(NSSNFRAC)**  
 Línea 11: Ángulo de fricción para cada fracción. **FRICANG(1) ... FRICANG(NSSNFRAC)** Línea  
 12: Factor de la fórmula de concentración de equilibrio para cada clase/fracción de sedimento.  
**SSTFACT(1) ... SSTFACT(NSSNFRAC)** Línea 13: Fórmula de velocidad de sedimentación. **ISSET-**  
**FOR** Línea 14: Factores de la fórmula de velocidad de sedimentación para cada clase/fracción  
 de sedimento. **SETFORFACT(1) ... SETFORFACT(NSSNFRAC)** Línea 15: Coeficientes de dis-  
 persión longitudinal y transversal. **DISPL DISPT** Línea 16: Fracciones iniciales de las clases de  
 sedimento en el lecho. **BEDFRACT(1) ... BEDFRACT (NSSNFRAC)**

### 15.21.1.1 Ejemplo de un archivo .SEDS

```

1
2
1
165.00 165.00
0.01 0.01
0.003937008 0.003937008
0.0039370 0.0039370
0.003937008 0.003937008
0.40 0.40
0.047 0.047
35.00 35.00
1.00 1.00
1
1 1
0.15 0.01
0.6 0.4
```

- **INICON:** R; 0,0.3; -; Concentración volumétrica inicial de sedimentos. Véase el comentario 1.
- **ISSACT:** I; 0,1,2; -; Interruptor de opción de sedimentos en suspensión.

1. No hay transporte de sedimentos en suspensión.
2. Calcular el transporte de sedimentos en suspensión con una distribución de fracciones del lecho constante en el tiempo.
3. Calcular el transporte de sedimentos en suspensión considerando la evolución de las fracciones del lecho (capa activa). Esta opción funcionará únicamente cuando IBLACT = 0 o 2. Véase la tabla.

- **NSSNFRAC:** I; 1-10; -; Número de fracciones de sedimentos en suspensión.
- **ISSTF:** I; 1, 2, 3; -; Fórmula de concentración de equilibrio. Este código indica la fórmula según la siguiente lista:

1. Bagnold (1966).
2. Van Rijn (1984a).
3. Zhang y Xie (1993).

- **DUMMY1:** R; > 0; -; No se utiliza en esta versión, pero debe estar presente.

- **D50:** R; > 0; mm o in; Tamaño mediano del sedimento. El 50 % del sedimento es más fino que D50. Véase el comentario 1.
- **DUMMY2:** R; > 0; -; No se utiliza en esta versión, pero debe estar presente.
- **DISPL:** R; > 0; m<sup>2</sup>/s o ft<sup>2</sup>/s; Coeficiente de dispersión longitudinal.
- **DISPT:** R; > 0; m<sup>2</sup>/s o ft<sup>2</sup>/s; Coeficiente de dispersión transversal.
- **SSPOR:** R; 0.3-0.6; -; Porosidad. Véase el comentario 1.
- **THETAC:** R; 0.03-0.06; -; Esfuerzo crítico de Shields. Véase el comentario 1.
- **FRICANG:** R; 5-45; -; Ángulo de fricción. Véase el comentario 1.
- **BEDFRACT:** R; -; -; Fracción de sedimento. La suma de todas las fracciones debe ser igual a 1.
- **SETFOR:** I; 1-9; -; Fórmula de velocidad de sedimentación. Es una fórmula única para todas las fracciones. Este código indica la fórmula según la siguiente 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 sedimentación. Este factor multiplica la velocidad de sedimentación calculada mediante la fórmula seleccionada en ISETFOR. Es un factor que puede utilizarse para calibrar el modelo.
- **SSDEN:** R; -; kg/m<sup>3</sup> o lb/ft<sup>3</sup>; Densidad de los sedimentos en suspensión. Véase el comentario 1.
- **SSTFACT:** R; -; -; Factor de la fórmula de concentración de equilibrio para cada fracción. Este factor multiplica la fórmula de concentración de equilibrio ISSTF. Es un factor que puede utilizarse para calibrar el modelo. Véase el comentario 1.

### 15.21.1.2 Comentarios para el archivo .SEDS

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

## 15.21.2 Archivo .SEDB para datos de transporte de carga de fondo

El archivo proporciona los datos para el modelo de transporte de carga de fondo. Línea 1: Interruptor de activación del transporte de sedimentos de carga de fondo. **IBLACT** Línea 2: Número de fracciones de sedimentos de carga de fondo. **NBLNFRAC** Línea 3: Fórmula de transporte de sedimentos. **IBLTF** Línea 4: Densidad del sedimento para cada fracción. **BLDEN(1) ... BLDEN(NBLNFRAC)** Línea 5: Tamaño D30 del sedimento para cada fracción. **D30(1) ... D30(NBLNFRAC)** Línea 6: Tamaño D50 del sedimento para cada fracción. **D50(1) ... D50(NBLNFRAC)** Línea 7: Tamaño D90 del 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 lecho. **BEDFRACT (1) ... BEDFRACT (NBLNFRAC)** Línea 12: Factor de la fórmula de transporte para cada fracción. **BLFORFACT(1) ... BLFORFACT (NBLNFRAC)** Línea 13: Interruptor de cálculo acoplado o desacoplado. **ICOUPLED**

### 15.21.2.1 Ejemplo de un archivo .SEDB

```

1
2
2
165.0 165.0
0.0039370 0.0039370
0.0039000 0.0039370
0.0039370 0.0039370
0.40 0.40
0.047 0.047
35.00 35.00
0.50 0.50
1.00 1.00
0

```

- **IBLACT:** I; 0,1,2; -; Interruptor de activación del transporte de carga de fondo.

1. No se calculará el transporte de carga de fondo.
2. Se calculará el transporte de sedimentos de carga de fondo sin evolución de las fracciones del lecho.
3. Se calculará el transporte de sedimentos de carga de fondo con evolución de las fracciones del lecho (Active Layer).

- **ICOUPLED:** I; 0,1; -; Interruptor de activación del transporte de carga de fondo. Si **ICOUPLED** = 0, el modelo se ejecutará en modo acoplado, en el que el transporte de carga de fondo se calculará junto con el modelo hidrodinámico para cada paso de tiempo. Si **ICOUPLED** = 1, el modelo ejecutará el transporte de carga de fondo desacoplado del modelo hidrodinámico.

- **NBLNFRAC:** I; 1–10; -; Número de fracciones de sedimentos.

- **IBLTF:** I; 1–10; -; Interruptor de cálculo acoplado o desacoplado. Este código indica la fórmula según esta 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 del sedimento. El 30 % del sedimento es más fino que D30. Solo se utiliza para la fórmula de Smart. Véase el comentario 1.
- **D50:** R; > 0; m or in; Tamaño mediano del sedimento. El 50 % del sedimento es más fino que D50. Véase el comentario 2.
- **D90:** R; > 0; m or in; Tamaño D90 del sedimento. El 90 % del sedimento es más fino que D90. Solo se utiliza para la fórmula de Smart. Véase el comentario 1.
- **BLPOR:** R; 0.3–0.6; -; Porosidad. Véase el comentario 1.
- **THETAC:** R; 0.03–0.06; -; Tensión crítica de Shields adimensional. Véase el comentario 3.
- **FRICANG:** R; 5–45; -; Ángulo de fricción. Véase el comentario 1.
- **BEDFRACT:** R; -; -; Fracción de sedimentos. La suma de todas las fracciones debe ser igual a 1. Véase el comentario 1.
- **BLDEN:** R; -; kg/m<sup>3</sup> or lb/ft<sup>3</sup>; Densidad del sedimento. Véase el 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 utilizarse para calibrar el modelo. Véase el comentario 1.

### 15.21.2.2 Comentarios para el archivo .SEDB

1. Debe haber un valor para cada fracción de sedimentos hasta NBLNFRAC.
2. Diámetro característico para todas las fórmulas de transporte de sedimentos.
3. La tensión crítica de Shields predeterminada es 0.047.
4. Cuando se seleccionan tanto el transporte en suspensión como el transporte de carga de fondo, la evolución de la fracción del lecho se considera en función de los valores seleccionados para ISSACT e IBLACT según la siguiente tabla

| Cálculo de la<br>evolución del | lecho IS | SACT   |                        |
|--------------------------------|----------|--------|------------------------|
| IBLACT                         | 0        | 1      | 2                      |
| 0                              | Desacti  | vado D | esactivado Activado    |
| 1                              | Desacti  | vado D | esactivado Desactivado |
| 2                              | Activa   | do Act | ivado Activado         |

### 15.21.3 Archivo de datos de las fracciones iniciales del lecho del módulo de transporte de sedimentos: .FBINITIAL

El modelo RiverFlow2D permite definir distribuciones espaciales variables de los granos de sedimento en el lecho. El usuario puede introducir polígonos en la capa *InitialBedFractions* y asignar a cada polígono un nombre de *bed fractions file* que contiene la fracción correspondiente a cada

tamaño de sedimento. El formato del archivo de fracciones del lecho es el siguiente: Línea 1: Fracción separada por espacios para cada clase de tamaño. **Fb(1) Fb(2) ... Fb(NSSNFRAC)** Donde Fb(i) es la fracción del lecho correspondiente al tamaño de sedimento i. El archivo tendrá NBLNFRAC o NSSNFRAC columnas y NELEM líneas. Con esta información, el modelo asignará la distribución de tamaños de grano a cada celda basándose en los polígonos introducidos. A todas las celdas que no estén contenidas dentro de los polígonos de la capa *InitialBedFractions* se les asignarán las fracciones indicadas en el archivo proporcionado.

Tenga en cuenta que, al utilizar la opción *Bed Fraction Evolution* o *Active Bed Layer*, el modelo tendrá en cuenta los cambios en los tamaños de grano de los sedimentos del lecho durante la simulación.

## 15.22 Archivo de datos del módulo de drenaje urbano: .LSWMM

Este archivo de datos permite ejecutar dinámicamente el modelo RiverFlow2D con el modelo EPA-SWMM para simular la interacción entre la superficie y la red de drenaje pluvial. El usuario puede definir múltiples ubicaciones de intercambio correspondientes a los pozos de inspección definidos en el archivo de proyecto de EPA-SWMM, y asignar diferentes diámetros y coeficientes de descarga a cada nodo de intercambio. Línea 1: Formato de versión del archivo. **202507** Línea 2: Número de pozos de inspección o nodos de intercambio. **NMAN** NMAN grupos de líneas que incluyen el identificador del pozo de inspección, las coordenadas del pozo de inspección, el diámetro y el coeficiente de descarga, de la siguiente manera: **MANHOLE\_ID(I) X(I) Y(I) Cd(I) DIAM(I) NCELLS Cell(1) Cell(2) ... Cell(NCELLS) Q\_OPT AUX\_PARAM ...**

### 15.22.1 Ejemplo de un archivo .LSWMM

```
202507
2
N1
264930.824 664804.843
0.61
0.800
4 235 7665 7869 8798
0
0
N2
264896.000 664747.000
0.61
1.300
5 2236 3634 6832 3745 2561
1
HvsQTable.txt
```

Este archivo corresponde al formato 202507 e indica que hay 2 pozos de inspección. El primero es N1, tiene las coordenadas 264930.824 664804.843, Cd = 0.61 y diámetro = 0.8. Hay 4 celdas que contribuyen al pozo de inspección N1 (235 7665 7869 8798), y 5 celdas que contribuyen al pozo de inspección N2 (2236 3634 6832 3745 2561). Para el nodo N2 se utilizará una tabla de descarga para calcular el caudal de entrada indicado en el archivo HvsQTable.txt.

- **AUX\_PARAM:** S, R; -; -
- La línea AUX\_PARAM se ignora.
- La línea AUX\_PARAM contiene el nombre del archivo de la tabla de descarga. Véase el formato siguiente.
- La línea AUX\_PARAM contiene un texto para uso futuro.
- La línea AUX\_PARAM contiene dos parámetros, la elevación de las celdas H\_ROOF y el coeficiente KT\_roof.
- **Q\_OPT:** I; 0, 1, 2, 3; -
- Cálculo predeterminado basado en la fórmula del orificio circular en función de la profundidad media entre todas las celdas mojadas de la lista.
- El caudal de intercambio se establece según la tabla de descarga (profundidad frente a Q). El nombre del archivo debe indicarse en la línea AUX\_PARAM.
- Para uso futuro.
- Calcula el caudal de intercambio basándose en la herramienta de cubierta descrita en la sección.
- **Cd(I):** R; > 0; -; Coeficiente de descarga para el nodo de intercambio I.
- **CELL(I):** R; -; -; Números de las celdas que contribuyen al flujo hacia este pozo de inspección.
- **DIAM(I):** R; -; m of ft; Diámetro del nodo de intercambio I. Véase el comentario siguiente.
- **MANHOLE\_ID(I):** S; < 26; -; Nombre del nodo de intercambio I. Debe tener menos de 26 caracteres y no debe contener espacios en blanco.
- **NCELLS:** I; ≥ 0; -; Número de celdas asociadas a este pozo de inspección. Si NCELLS = 0, la celda del pozo de inspección es la única celda de intercambio con el modelo SWMM.
- **NMAN:** I; > 0; -; Número de pozos de inspección o nodos de intercambio.
- **X(I) Y(I):** R; -; m of ft; Coordenadas del nodo de intercambio I.

### 15.22.2 Archivos de datos de profundidad-descarga

Este formato se aplica a la tabla de profundidad frente a descarga utilizada para CALC\_OPT = 1. Línea 1: Número de puntos de la serie de datos. **NDATA** NDATA líneas que contienen la profundidad y la descarga. **h(I) Q(I)** Donde h(I) es la profundidad del agua y Q(I) es la descarga correspondiente.

### 15.22.2.1 Comentarios para el archivo

La descarga de agua desde la malla hacia el nodo de entrada de SWMM se calcula mediante una de dos opciones:

1. Si `CALC_OPT = 0`, `Q` se calcula suponiendo una entrada circular de diámetro `DIAM` y coeficiente de descarga `Cd`.
2. Si `CALC_OPT = 1`, `Q` se calcula interpolando a partir de la tabla de descarga `h` frente a `Q` indicada en el archivo `AUX_PARAM`.  
 item Si `CALC_OPT = 3`, `Q` se calcula basándose en la herramienta de cubierta descrita en la sección.

## 15.23 Datos de control de salida

### 15.23.1 Archivo de datos de puntos de observación: .OBS

Este archivo contiene datos que permiten al modelo generar series temporales de resultados en ubicaciones especificadas por el usuario, basadas en las coordenadas de los puntos. El nombre y el formato de los archivos de puntos de observación se describen en esta sección. Según el número de puntos introducidos en la capa *Observation points*, el archivo indicará el número de puntos de observación y, a continuación, la lista de coordenadas de los puntos. Línea 1: Número de puntos de observación. **NOBSPPOINTS** NOBSPPOINTS grupos de líneas que contienen el identificador del punto de observación y las coordenadas de cada punto: **ObsID X\_OP(I) Y\_OP(I) ...**

#### 15.23.1.1 Ejemplo de un archivo .OBS

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

Este archivo contiene tres puntos. El primero se denomina PointA y tiene las coordenadas: `X=798798.380` `Y=309627.950`.

- **ObsID:** S; < 26; -; Nombre del punto de observación. Debe tener menos de 26 caracteres y no debe contener espacios en blanco.
- **NOBSPPOINTS:** I; > 0; -; Número de puntos de observación.
- **X\_OP Y\_OP:** R; -; m or ft; Coordenadas del punto.

### 15.23.2 Archivo de datos de control de salida gráfica: .PLT

Este archivo proporciona parámetros para controlar las opciones de salida gráfica de los gráficos generados mientras se ejecuta el modelo. Línea 1: Variables de control del gráfico. **IGRAPHCODE**

**COLORSCHEME IAXES IDXF IGRAPHFILES IVSF** Línea 2: Multiplicador de escala del vector de velocidad. **SF\_MULT** Línea 3: Coordenadas de la ventana del gráfico. **XMING XMAXG YMING YMAXG** Línea 4: Límites de la variable representada. **MINVARG MAXVARG** Línea 5: Velocidad máxima que se representará. **MAXVELOC** Línea 6: Transparencia. **USEBACKIMAGE** Línea 7: Transparencia. **TRANSP** Línea 8: Imagen aérea de fondo. **IMAGEFILE** Línea 9: Archivo mundial de la imagen aérea de fondo. **IMAGEWF**

### 15.23.2.1 Ejemplo del archivo .PLT

```
100 5 1 0 1 0
5
0 0 0 0
0 0
7
1
0.6
C:\Projects\Example\Aerial.gif
C:\Projects\Example\Aerial.gwf
```

- **COLORSCHEME:** I; 1-6; -; Variable para seleccionar la opción de trazado. Consulte el comentario 1.
- **IAxes:** I; 0,1; -; Conmutador para controlar si se trazan los ejes.

1. No trazar los ejes X e Y.
2. Trazar los ejes X e Y.

- **IDXF:** I; 0,1; -; Conmutador para controlar la salida del campo de velocidades en formato DXF de CAD.

1. No generar la malla DXF ni el campo de velocidades.
2. Crear archivos DXF de la malla y del campo de velocidades para cada instante de salida.

- **IGRAPHCODE:** I; 100, 101, 102, 103, 110, 201, 202, 203, 204, 600-610; -; Parámetro que indica el tipo de trazado que se mostrará mientras se ejecuta el programa.

1. Trazar el campo de velocidades usando vectores negros.
2. Trazar el campo de velocidades usando vectores negros sobre las profundidades.
3. Trazar el campo de velocidades sobre las elevaciones del lecho.
4. Trazar las elevaciones del agua.
5. Trazar el campo de velocidades usando vectores de colores.
6. Trazar las profundidades.
7. Trazar las elevaciones del lecho.
8. Trazar el campo de velocidades sobre las elevaciones del agua.
9. Trazar los cambios en la elevación del lecho.
10. Trazar las concentraciones de sedimentos suspendidos o contaminantes.

- **IGRAPHFILES:** I; 0,1; -; Variable para controlar si se generan archivos gráficos.



1. No generar archivos gráficos.
2. Generar archivos gráficos.

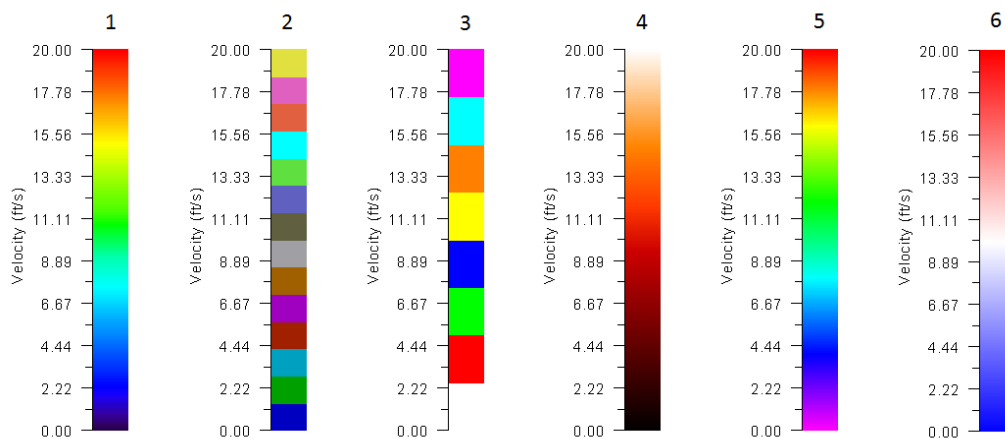
- **IMAGEFILE:** S; -; -; Nombre del archivo de imagen aérea, incluida la ruta y la extensión. Los formatos compatibles incluyen BMP (.bmp), JPEG (.jpg o .jpeg), PNG (.png) y GIF (.gif). En próximas versiones se incluirán otros formatos de archivos gráficos.
- **IMAGEWF:** S; -; -; Nombre del archivo mundial de la imagen aérea, incluida la ruta y la extensión. El formato del archivo mundial debe seguir las especificaciones de ESRI. Consulte el comentario 2.
- **IVSF:** I; 0,1; -; Conmutador para controlar la salida del campo de velocidades en un archivo que permite crear shapefiles.

1. No generar el campo de velocidades SF.
2. Crear archivos SF del campo de velocidades para cada instante de salida. Consulte el comentario 3.

- **MAXVELOC:** R; -; m/s o ft/s; Use esta variable para controlar la velocidad máxima mostrada en los trazados vectoriales.
- Si MAXVELOC = 0, se trazará todo el rango de velocidades.
- Si MAXVELOC > 0, definirá la velocidad máxima que se mostrará.
- **MINVARG, MAXVARG:** R; -; -; Estas variables definen los valores mínimo y máximo que se mostrarán de la variable seleccionada. Si son iguales a 0, se mostrará el rango máximo.
- **SF\_MULT:** R; > 1; -; Variable para controlar la escala de los vectores de velocidad. Use esta variable para ajustar los vectores de velocidad. Las velocidades se escalarán según SF\_MULT.
- **TRANSP:** R; [0,1]; -; Variable para controlar la transparencia del trazado cuando se utiliza una imagen de fondo. TRANSP debe estar en el rango de 0.0 a 1.0, donde 0.0 significa un color completamente transparente y 1.0 significa un color completamente opaco.
- **USEBACKIMAGE:** I; [0,1]; -; Variable para controlar si se utiliza una imagen de fondo para los trazados dinámicos durante la ejecución del modelo. Si el valor es = 1, el trazado incluirá como fondo la imagen proporcionada en IMAGEFILE e IMAGEWF.
- **XMING, XMAXG, YMING, YMAXG:** R; -; m o ft; Estas variables indican las coordenadas de un rectángulo que define la ventana de trazado. Si todos los valores son 0, se mostrará la extensión completa del área de modelación.

### 15.23.2.2 Comentarios para el archivo .PLT

1. COLORSCHEME define la paleta de colores que se utilizará para todos los trazados. Las paletas disponibles se muestran en esta figura:



*Paletas de colores.*

2. El significado genérico de los parámetros del archivo mundial es:

- Línea 1: A: tamaño del píxel en la dirección x en unidades del mapa/píxel
- Línea 2: D: rotación alrededor del eje y (ignorada en esta versión)
- Línea 3: B: rotación alrededor del eje x (ignorada en esta versión)
- Línea 4: E: tamaño del píxel en la dirección y en unidades del mapa, casi siempre negativo
- Línea 5: C: coordenada x del centro del píxel superior izquierdo
- Línea 6: F: coordenada y del centro del píxel superior izquierdo.

Ejemplo:

```
2.05
0.00
0.00
-2.05
795944.99
310049.73
```

En este ejemplo, 2.05 es el tamaño del píxel en la dirección x, la rotación en los ejes x e y es 0.00, el tamaño del píxel en la dirección y es 2.05 (mostrado en negativo), la coordenada x del píxel superior izquierdo es 795944.99 y la coordenada y del píxel superior izquierdo es 310049.73.

La siguiente tabla indica los formatos de imagen compatibles y sus extensiones de archivo mundial correspondientes.

- **BMP (.bmp):** archivo mundial .bpw
- **JPEG (.jpg o .jpeg):** archivo mundial .jgw
- **PNG (.png):** archivo mundial .pgw
- **GIF (.gif):** archivo mundial .gwf

### 15.23.3 Datos para la salida de resultados de perfiles: .PROFILES

Use este archivo para proporcionar perfiles (polilíneas) a lo largo de los cuales se generarán resultados. Línea 1: Número de perfiles. **NPROFILES** Grupo de archivos NPROFILES que incluye: ID del perfil, número de vértices del perfil I, número de intervalos en los que se dividirá cada perfil y coordenadas de cada vértice de la polilínea. **PROFILEID NVERTICES\_PR(I) ND\_PR X\_PRF(I), Y\_PRF(I) ...**

#### 15.23.3.1 Ejemplo de un archivo .PROFILES

```
2
ProfileA
2 10
800500.45 }306895.63
799095.07 307457.34
ProfileB
3 10
800503.45 306896.63
799500.00 306900.00
799095.07 307457.34
```

Este archivo indica que hay 2 perfiles. El ID del primer perfil es: ProfileA, que está definido mediante una polilínea de 2 vértices y se dividirá en 10 segmentos.

- **ND\_PR:** I; > 2; -; Intervalos en los que se dividirá cada subsegmento del perfil entre vértices. Los resultados se notificarán en cada intervalo.
- **NPROFILES:** I; > 0; -; Número de perfiles.
- **NVERTICES\_PR(I):** I; > 1; -; Número de vértices de cada perfil.
- **PROFILEID:** S; < 26; -; Nombre del perfil. Debe tener menos de 26 caracteres y no debe contener espacios en blanco.
- **X\_PRF(I,J), Y\_PRF(I,J):** R; -; m o ft; Coordenadas de cada vértice J del perfil I.

### 15.23.4 Datos de secciones transversales para el archivo de salida de resultados: .XSECS

Las secciones transversales se utilizan para generar resultados numéricos en líneas definidas por el usuario sobre la malla. Línea 1: Número de secciones transversales. **NCROSS\_SECTIONS** Grupos NCROSS\_SECTIONS 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 en los que se dividirá la sección transversal y la lista de coordenadas del punto inicial y final de la sección transversal: **XSECID NPXSEC ND\_CS X1\_CS(I) Y1\_CS(I) X2\_CS(I) Y2\_CS(I)**

#### 15.23.4.1 Ejemplo de un archivo .XSECS

```

CrossSectionA
2 40
800500.45 306895.63
799095.07 307457.34
CrossSectionB
2 40
800492.17 307163.36
799171.99 307594.56
CrossSectionC
2 40
800449.99 307404.31
799223.97 307690.20

```

Este archivo indica que hay 3 secciones transversales. La primera tiene ID = CrossSectionA y se dividirá en 40 segmentos.

- **NCROSS\_SECTIONS:** I; > 0; -; Número de secciones transversales.
- **ND\_CS:** I; > 2; -; La sección transversal se dividirá en ND\_CS segmentos. Los resultados se notificarán en cada segmento. Consulte el comentario 1.
- **NPXSEC:** I; 2; -; Número de puntos que definen la sección transversal. En la versión actual solo se permiten los dos puntos extremos para definir la sección transversal; por lo tanto, este valor siempre debe ser 2.
- **X1\_CS, Y1\_CS, X2\_CS, Y2\_CS:** R; -; m o ft; Coordenadas de los puntos inicial y final de cada sección transversal.
- **XSECID:** S; < 26; -; Nombre de la sección transversal. Debe tener menos de 26 caracteres y no debe contener espacios en blanco.

#### 15.23.4.2 Comentarios para el archivo .XSECS

1. El modelo cortará la malla utilizando la línea de sección transversal y extraerá los resultados en los puntos de división. Si ND\_CS es demasiado pequeño, es posible que el programa no capture nada entre las divisiones y que los caudales calculados de la sección transversal contengan errores importantes.

## 15.24 Datos de elevación

### 15.24.1 Datos X Y Z con encabezado

Estos archivos contienen datos dispersos en un formato adecuado para importarlos en un editor de texto o en un programa de hojas de cálculo. Por ejemplo, la capa de datos *BedElevations*. Normalmente tiene extensión, pero puede tener cualquier otra extensión de archivo siempre que el formato sea el descrito aquí. Cada punto se identifica mediante sus coordenadas X e Y y el valor de elevación correspondiente a esas coordenadas. Línea 1: Número de puntos y número de parámetros por punto (encabezado) **NUMBER\_OF\_DATA\_POINTS** Líneas **NUMBER\_OF\_DATA\_POINTS** con datos de X, Y y parámetros. **X(POINT) Y(POINT) P1(POINT) P2(POINT) ... PN(POINT)**

### 15.24.1.1 Ejemplo de un archivo .EXP

```

11086 1
798439.73 306063.87 160.00
798477.04 309506.95 201.10
798489.45 309522.30 200.93
798498.09 306222.29 162.00
798504.45 305915.63 160.00
798511.71 306075.55 161.00
798516.09 309412.73 201.74
798517.37 309592.42 163.14
...

```

En este archivo de ejemplo hay 11086 puntos de datos de elevación, un parámetro por punto (la elevación de cada punto).

- **NUMBER\_OF\_DATA\_POINTS:** I; > 0; -; Número de puntos de datos en el archivo.
- **NUMBER\_OF\_PARAMETERS:** I; > 0; -; Número de parámetros para cada punto. En el caso del archivo de datos de elevación, este valor es igual a 1.
- **X:** I; -; m o ft; Coordenada X de cada punto de elevación. Consulte el comentario 1.
- **Y:** R; -; m o ft; Coordenada Y de cada punto de elevación. Consulte el comentario 1.
- **P:** R; -; m o ft; Valor del parámetro. Consulte el comentario 2.

### 15.24.1.2 Comentarios para el archivo de datos .EXP

1. Las coordenadas X e Y pueden proporcionarse en metros o pies, según las unidades utilizadas en el proyecto. El sistema de coordenadas siempre debe corresponder a una proyección plana. RiverFlow2D no admite coordenadas geográficas en formato de latitud/longitud.
2. Los valores de elevación deben proporcionarse en las mismas unidades que las coordenadas correspondientes.

## 15.25 Archivos de datos de condiciones de contorno

### 15.25.1 Archivos de condiciones de contorno de una variable

Este formato se aplica a los siguientes archivos de datos:

- Tiempo frente a elevación de la superficie del agua (BCTYPE = 1, 17)
- Tiempo frente a descarga (BCTYPE = 6)

*Nota:* El parámetro **BCTYPE** se describe en la Tabla 7. Línea 1: Número de puntos de la serie de datos. **NDATA** Líneas de NDATA que contienen **TIME(I) VARIABLE(I)** Donde **VARIABLE(I)** es WSE o Q, según la condición de contorno **BCTYPE**.

### 15.25.1.1 Ejemplo del archivo de condición 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 pares de tiempo y descarga:

```
7
0. 20.
1. 30.
1.3 50.
2. 90.
4. 120.
5. 200.
7. 250.
```

- **NDATA:** I; > 0; -; Número de puntos de la serie de datos.
- **TIME:** R; > 0; h; Tiempo en horas. El intervalo de tiempo es arbitrario.
- **VARIABLE:** R; -; -; Representa la elevación de la superficie del agua o la descarga, según la condición de contorno.

### 15.25.2 Archivos de condición de contorno de dos variables

Este formato se aplica a los siguientes archivos de datos:

- Tiempo frente a descarga Q y elevación de la superficie del agua (BCTYPE = 5)
- Tiempo frente a descarga de agua Q y descarga de sedimentos Qs (BCTYPE = 26)

Línea 1: Número de puntos de la serie de datos. **NDATA** Líneas de NDATA 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 de la siguiente manera:

- **5:** Q; WSE

#### 15.25.2.1 Ejemplo del archivo de condición de contorno de dos variables

El siguiente ejemplo muestra un archivo para BCTYPE=5 donde se proporcionan la descarga y WSE, NDATA es 10 y hay 10 líneas con pares de tiempo, descarga 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.
```

- **NDATA:** I; > 0; -; Número de puntos de la serie de datos.
- **TIME:** R; > 0; h; Tiempo en horas. El intervalo de tiempo es arbitrario.
- **VARIABLE1:** R; -; -; Representa la elevación de la superficie del agua, la descarga o las componentes de velocidad U o V, según la condición de contorno.
- **VARIABLE2:** R; -; -; Representa la elevación de la superficie del agua, la descarga o las componentes de velocidad U o V, según la condición de contorno.

### 15.25.3 Archivos de condición de contorno de múltiples variables

Este formato se aplica al siguiente archivo de datos:

- Tiempo frente a descarga de agua Q y descarga de sedimentos Qs (BCTYPE = 26)

Línea 1: Número de puntos de la serie de datos. **NDATA** Líneas de NDATA 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 de la siguiente manera:

- **Q:** Qs

#### 15.25.3.1 Ejemplo del archivo de condición de contorno de múltiples variables

El siguiente ejemplo muestra un archivo para BCTYPE=26 donde se proporcionan la descarga de agua y la descarga de sedimentos para dos fracciones, NDATA es 10 y hay 10 líneas con pares de tiempo, descarga 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.
```

- **NDATA:** I; > 0; -; Número de puntos de la serie de datos.
- **TIME:** R; > 0; h; Tiempo en horas. El intervalo de tiempo es arbitrario.
- **VARIABLE1:** R; -; -; Representa la descarga de agua.
- **VARIABLE2..N:** R; -; -; Representa la descarga de sedimentos para la fracción indicada.

### 15.25.4 Archivos de datos de nivel-descarga

Este formato se aplica a la tabla de nivel (elevación de la superficie del agua) frente a descarga utilizada para BCTYPE = 9 y 19. Línea 1: Número de puntos de la serie de datos. **NDATA** Líneas de NDATA que contienen el nivel y la descarga. **STAGE(I) Q(I)** Donde STAGE(I) es la elevación de la superficie del agua y Q(I) es la descarga correspondiente.

### 15.25.4.1 Ejemplo del archivo de condición de contorno de nivel-descarga

El siguiente ejemplo muestra una tabla de relación nivel-descarga donde NDATA es 21 y hay 21 líneas con pares de nivel y descarga correspondiente:

```

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

```

- **NDATA:** I;  $> 0$ ; -; Número de líneas del archivo de datos.
- **STAGE:** R;  $> 0$ ; m or ft; Elevación de la superficie del agua.
- **Q:** R;  $> 0$ ; m<sup>3</sup>/s or ft<sup>3</sup>/s; Descarga de agua.

## 15.25.5 Archivos de datos de profundidad-descarga de alcantarilla

Este formato se aplica a la tabla de profundidad de alcantarilla frente a descarga. Línea 1: Número de puntos de la serie de datos. **NDATA** Líneas de NDATA que contienen la profundidad y la descarga. **DEPTH(I) Q(I)** Donde DEPTH(I) es la profundidad correspondiente a la descarga Q(I).

### 15.25.5.1 Ejemplo del archivo de profundidad-descarga de alcantarilla

El siguiente ejemplo muestra una tabla de relación profundidad-descarga para una alcantarilla. NDATA es 7 y hay 7 líneas con pares de profundidad y descarga correspondiente:

```

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

- **NDATA:** I;  $> 0$ ; -; Número de líneas del archivo de datos.
- **DEPTH:** R;  $> 0$ ; m or ft; Profundidad del agua.
- **Q:** R;  $> 0$ ; m<sup>3</sup>/s or ft<sup>3</sup>/s; Descarga de agua.

# 16

## Referencia de archivos de salida

RiverFlow2D genera resultados en muchos archivos de texto ASCII de salida. Se puede acceder fácilmente a estos archivos con cualquier editor de texto y se pueden importar a QGIS u otro software SIG para su visualización y análisis. RiverFlow2D siempre crea archivos ASCII de salida tanto en unidades inglesas como métricas, dependiendo de las unidades proporcionadas en los archivos de datos.

### 16.1 Descripción general de los archivos de salida

Las siguientes tablas resumen los archivos de salida generados por RiverFlow2D:

- **Lista de tiempos de salida:** Informa de los tiempos de salida de los archivos de resultados.
- **Parámetros de control de ejecución, componentes utilizados, etc.:** .OUTI (métrico) y .OUTE (inglés); Reproduce los datos de entrada leídos de los archivos, incluidos los parámetros de control del modelado, los datos de la malla y las condiciones de contorno, y para cada intervalo de tiempo de informe, los caudales y velocidades de entrada y salida.
- **Archivos nativos de salida del modelo:** Informa de los resultados del modelo en las celdas para cada intervalo de informe.
- **Parámetros de control de ejecución, componentes utilizados, etc.:** .OUTI (métrico) y .OUTE (inglés); Reproduce los datos de entrada leídos de los archivos, incluidos los parámetros de control del modelado, los datos de la malla y las condiciones de contorno, y para cada intervalo de tiempo de informe, los caudales y velocidades de entrada y salida.
- **Información de la malla de celdas triangulares:** .MESHOUTI (métrico) y .MESHOUTE (inglés); Estos archivos proporcionan información completa sobre la malla de celdas triangulares.

- **Resultados del progreso de la ejecución:** Este archivo informa, para cada intervalo de salida, del tiempo de cómputo, el paso de tiempo promedio, el caudal de entrada y salida de agua y de transporte de sedimentos en los contornos abiertos, y los errores de conservación de volumen y masa.
- **Salida tabular de valores máximos:** .MAXI (métrico) y .MAXE (inglés); Para cada intervalo de salida, los módulos de velocidad nodal máximos y las profundidades se escriben en estos archivos.
- **Serie temporales en puntos de observación:** .OUTI (métrico) y .OUTE (inglés); Estos archivos informan de las series temporales de resultados de la celda donde se encuentra el punto. Los resultados incluyen series temporales de velocidades, profundidades, elevaciones de la superficie del agua y del lecho, cambios en la elevación del lecho, condición de húmedo-seco y número de Froude. El formato del nombre de archivo es RESvsT\_NCELDA.OUTI para unidades métricas y RESvsT\_NCELDA.OUTE para unidades inglesas, donde NCELDA es el nombre del punto de observación.
- **Balance de masas:** Informa de los caudales y volúmenes totales de entrada y salida para cada intervalo de salida.
- **Inicio en caliente:** Se genera en el modelo RiverFlow2D para reiniciar una simulación a partir de resultados calculados previamente. El archivo contiene el tiempo en segundos y el nombre de archivo correspondiente desde el que se reiniciará el modelo al utilizar la opción de inicio en caliente.
- **Archivos nativos de salida del modelo:** Informa de los resultados del modelo en las celdas para cada intervalo de informe.
- **Archivos nativos de salida del modelo para el módulo MT:** Informa de los resultados del modelo en las celdas para cada intervalo de informe cuando se utiliza el módulo MT con la opción de propiedades variables.
- **Salida de secciones transversales:** .XSECI (métrico) y .XSECE (inglés); Para todos los intervalos de salida, estos archivos proporcionan la elevación del lecho, la profundidad, la elevación de la superficie del agua, la velocidad media en profundidad, el número de Froude y el caudal de agua y de sedimentos.
- **Hidrogramas de secciones transversales:** .XSECH (agua) y .XSECSSED (sedimentos); Informa de una tabla de hidrograma para cada sección transversal. Consulte el Comentario 1.
- **Salida de perfiles:** .PRFI (métrico) y .PRFE (inglés); Para cada intervalo de salida y para un número de puntos a lo largo de polilíneas definidas por el usuario, estos archivos proporcionan la elevación del lecho, la profundidad, la elevación de la superficie del agua, la velocidad media en profundidad y el número de Froude.
- **Alcantarillas:** Genera el caudal en cada alcantarilla para cada intervalo de informe. El formato del nombre de archivo es CULVERT\_culvertID.OUT, donde culvertID es el nombre proporcionado por el usuario.

- **Tablas de clasificación internas:** Genera el caudal en cada IRT para cada intervalo de informe. El formato del nombre de archivo es IRT\_irtID.OUT, donde irtID es el texto proporcionado por el usuario para identificar la tabla de clasificación interna.
- **Vertederos:** .WEIRI (métrico) y .WEIRE (inglés); Informa de los resultados de los vertederos.
- **Resultados generales:** Cuando se selecciona la casilla de verificación Create Graphic Output Files en el Graphic Output Panel, el modelo RiverFlow2D generará archivos que informan de las velocidades, profundidades, elevaciones de la superficie del agua y del lecho, cambios en la elevación del lecho, condición de húmedo-seco, número de Froude y caudal de transporte de sedimentos para cada intervalo de tiempo de salida. Estos archivos pueden ser utilizados por software de terceros, incluido Paraview, para generar gráficos de alta calidad de los resultados de RiverFlow2D. ParaView (<https://www.paraview.org>) es una aplicación de código abierto y multiplataforma para el análisis y la visualización de datos. Los usuarios de ParaView pueden crear rápidamente visualizaciones para analizar sus datos mediante técnicas cualitativas y cuantitativas. La exploración de datos puede realizarse interactivamente en 3D o mediante programación usando las capacidades de procesamiento por lotes de ParaView.
- **Distribución espacial de los resultados para cada intervalo de informe:** Para cada intervalo de salida, las velocidades de las celdas, las profundidades, las elevaciones de la superficie del agua y del lecho, los cambios en la elevación del lecho, la condición de húmedo-seco, el número de Froude, los flujos de transporte de sedimentos, etc., se escriben en el archivo. Estos archivos se utilizan para preparar mapas de Results vs Time. Los archivos se denominan cell\_time\_metric\_<time>.textout (unidades métricas), cell\_time\_eng\_<time>.textout (unidades inglesas) o la variante independiente de unidades cell\_time\_<time>.textout.
- **Distribución espacial de las concentraciones de contaminantes para cada intervalo de informe:** Para cada intervalo de salida, las concentraciones de las celdas se escriben en el archivo. Estos archivos se utilizan para preparar mapas de Pollutant Concentration vs Time. El nombre de archivo es cell\_conc\_<time>.textout.
- **Distribución espacial de las concentraciones de sedimentos para cada intervalo de informe:** Para cada intervalo de salida, las concentraciones de sedimentos de las celdas se escriben en el archivo. Estos archivos se utilizan para preparar mapas de sediment concentration vs Time. El nombre de archivo es cell\_st\_<time>.textout.
- **Coordenadas y propiedades de las partículas de aceite para cada intervalo de informe:** Para cada intervalo de salida, las coordenadas, el volumen, la densidad, la viscosidad y el estado del aceite de las partículas se escriben en el archivo. Estos archivos se utilizan para preparar mapas de oil property vs Time. El nombre de archivo es Par\_time\_metric\_<spill>\_<time>.textout (unidades métricas), Par\_time\_eng\_<spill>\_<time>.textout (unidades inglesas) o la variante independiente de unidades Par\_time\_<spill>\_<time>.textout.
- **Archivos de valores máximos en celdas:** Estos archivos ASCII informan de los valores máximos del módulo de velocidad, la profundidad y las elevaciones de la superficie del agua, y permiten transferirlos sin problemas al software QGIS Geographic Information System para generar mapas. Los archivos se denominan <ProjectName>\_cells\_max.textout.

- **Archivo de tiempo hasta profundidad en celdas:** Este archivo informa del momento en que se alcanzan determinadas profundidades durante la simulación, del tiempo de inundación, etc., y permite transferirlo sin problemas a QGIS. Los archivos se denominan <ProjectName>\_time2depths\_cel
- **Archivo de valores de intensidad del peligro en celdas:** Estos archivos ASCII informan de los valores de intensidad del peligro para diversas clasificaciones de peligro utilizadas en distintos países. Estas incluyen la United State Bureau of Reclamation, los métodos suizos, los criterios utilizados en Austria y en el Reino Unido, y permiten transferirlos sin problemas a QGIS para preparar mapas. Los archivos se denominan <ProjectName>\_cells\_hazard.textout.

### 16.1.0.1 Comentarios sobre los archivos de salida

En el modelo RiverFlow2D, estos archivos se generan durante el paso final, después de que el modelo completa la ejecución, y al realizar el postprocesamiento de los resultados mediante Plot RiverFlow2D results en el panel *Data Input Program Graphic Output Options*.

## 16.1.1 Archivos esenciales necesarios para generar mapas, gráficos y animaciones

Como se desprende de la lista de archivos indicada anteriormente, RiverFlow2D crea un número significativo de archivos que contienen resultados del modelo, y algunos pueden ser enormes para proyectos grandes. Sin embargo, solo se necesita un subconjunto de estos archivos para crear gráficos en RiverFlow2D. Saber qué archivos de salida son necesarios suele ser de importancia práctica cuando es necesario reducir el número de archivos que se transferirán a un equipo distinto del utilizado para realizar las simulaciones. Un ejemplo es cuando se utiliza un servicio en la nube para realizar simulaciones y el usuario necesita descargar los archivos de resultados a un equipo local. Descargar solo los archivos esenciales para el postprocesamiento ayudará a minimizar los costes de conexión.

Esta sección resume los archivos esenciales para crear mapas, gráficos y animaciones en un proyecto de RiverFlow2D. Esto supone que el proyecto existente tiene las capas creadas para generar los archivos de RiverFlow2D, como *Trimesh*, etc.

La siguiente tabla presenta los distintos gráficos y animaciones que se pueden crear con RiverFlow2D y los archivos de salida necesarios para cada gráfico.

### Nota

Estos son los archivos nativos de resultados del modelo, que siempre están en unidades SI. Aunque no se utilizan directamente para la salida gráfica, pueden ser útiles para volver a generar los archivos de postprocesamiento si se eliminan los archivos de postprocesamiento descritos en esta sección.

Resultados frente al tiempo

Concentración de contaminantes frente al tiempo

Concentración de sedimentos frente al tiempo

Concentración, densidad, viscosidad y esfuerzo de fluencia del fluido frente al tiempo

Ubicación y propiedades del aceite o plástico para el modelo OilFlow2D. Mapas y animaciones temporales.

Mapas de resultados máximos

Mapas de tiempo hasta profundidad

Mapas de intensidad de peligros

Animaciones, secciones transversales y perfiles

## 16.2 Archivos de salida generales

Esta sección describe el contenido de cada archivo de salida.

### 16.2.1 Archivo de tiempos de salida .outfiles

Este archivo incluye una lista de tiempos correspondientes a cada intervalo de salida. El siguiente es un ejemplo del contenido de un archivo típico:

```
time_0000_00_00_00.exp  
time_0000_00_06_00.exp  
time_0000_00_12_00.exp  
time_0000_00_18_00.exp  
time_0000_00_24_00.exp  
time_0000_00_30_00.exp  
time_0000_00_36_00.exp
```

### 16.2.2 Tiempos de salida para el modelo de derrame de petróleo sobre agua .outfilesoilw

Este archivo incluye una lista de tiempos correspondientes a cada intervalo de salida generado al ejecutar el modelo de derrame de petróleo sobre agua. El siguiente es un ejemplo del contenido de un archivo típico:

```
_0000_02_00_00  
_0000_02_15_00  
_0000_02_30_00  
_0000_02_45_00  
_0000_03_00_00  
_0000_03_15_00  
_0000_03_30_00  
_0000_03_45_00
```

### 16.2.3 Resumen de opciones de ejecución .outi y .oute archivos

Estos archivos replican los datos de entrada leídos de los archivos, incluidos los parámetros de control del modelado, los datos de la malla, las condiciones de contorno y los caudales y veloci-

dades de entrada y salida para cada intervalo de salida. El archivo está en unidades métricas y en unidades inglesas. Parte de una salida típica es la siguiente:

```

=====
RiverFlow2D Plus - Release CPU 6.11.01
Build NOV 04 2018
=====
TWO-DIMENSIONAL FINITE-VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
(C) COPYRIGHT 2009-2018 Hydronia, LLC.
ALL RIGHTS RESERVED
RUN DATE: 14/DEC/2018
=====
GRAPHICAL USER INTERFACE
QGIS was used to process RiverFlow2D input files.
=====
TIME CONTROL OPTIONS
=====
Simulation time : 2.000 hrs.
Report output interval : 0.100 hrs.
Use variable time-steps : ON.
Courant-Friederich-Lewy (CFL) : 1.000
Start simulation : Time = 0.
Manning n multiplier : 1.00
Input units : Metric.
Depth tolerance for dry bed : -1.000 [model controlled].
Wetting-drying method : Plus.
=====
MODULE OPTIONS
=====
Sediment Transport : OFF.
Mud/Debris Flow : OFF.
Pollutant Transport : OFF.
=====
COMPONENT OPTIONS
=====
Bridges : OFF.
Culverts : OFF.
Internal rating tables : OFF.
Gates : OFF.
Dams : OFF.
Piers : OFF.
Rainfall/evaporation : OFF.
Sources/Sinks : OFF.
Weirs : OFF.
Wind : OFF.
=====
MESH DATA
=====
Number of elements/cells : 1965
Number of nodes : 1048
Total mesh area : 0.551E+00 km2.
Average element area : 0.280E+03 m2.
Average element size (approx.) : 23.682 m.
Element with minimum area : 1814
Minimum element size (approx.) : 13.655 m.
Minimum area : 93.224 m2.
Element with maximum area : 122
Maximum element size (approx.) : 34.653 m.
Maximum area : 600.408 m2.
Minimum element angle : 32.080
Element with minimum angle : 1965
Maximum bed elevation : 56.470

```

```
=====
OPEN BOUNDARIES
=====
Number of Open Boundaries:      2

Number of nodes on open boundary 1:      21
node  bc  type  bc  file name
 75    12    0.03
117    12    0.03
 74    12    0.03
 73    12    0.03
 72    12    0.03
 71    12    0.03
 70    12    0.03
 69    12    0.03
 68    12    0.03
 67    12    0.03
 66    12    0.03
 65    12    0.03
 64    12    0.03
 63    12    0.03
 62    12    0.03
 61    12    0.03
 60    12    0.03
 59    12    0.03
 58    12    0.03
 57    12    0.03
 56    12    0.03

Number of nodes on open boundary 2:      7
node  bc  type  bc  file name
  6    6    QIN.DAT
110    6    QIN.DAT
  5    6    QIN.DAT
  4    6    QIN.DAT
  3    6    QIN.DAT
  2    6    QIN.DAT
  1    6    QIN.DAT

Boundary      1 has uniform flow condition.

Cross section for boundary No.      1

Node  Distance  Bed elevation
      m.         m.
 75    0.00    163.47
117   60.55    163.78
 74   121.09    164.00
 73   221.09    164.00
 72   321.09    163.87
 71   421.09    163.74
 70   521.09    163.24
 69   621.09    159.01
 68   721.09    157.06
 67   821.09    155.51
 66   921.09    153.79
 65  1021.09    154.51
 64  1121.09    159.43
 63  1221.09    161.44
 62  1321.09    161.47
 61  1421.09    161.27
 60  1521.09    162.54
 59  1621.09    164.35
 58  1721.09    167.54
 57  1821.09    173.44
 56  1921.09    177.04
```

## 16.2.4 Datos de la malla y métricas de la malla .meshouti y .meshoute archivos

Los datos de la malla se escriben en archivos con extensiones .MESHOUTI (unidades métricas) y .MESHOUTE (unidades inglesas). Estos archivos proporcionan información completa sobre la malla de celdas triangulares. La siguiente tabla resume la salida disponible.

- **Número de celdas:** Número total de celdas 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 inicial del lecho
- **INITIAL\_WSE:** elevación inicial de la superficie del fluido
- **BC ID:** código de condición de contorno
- **BC File:** nombre del archivo de condición de contorno
- **Node1, Node2, Node3:** números de los nodos de cada celda en orden antihorario
- **Manning's n:** coeficiente de rugosidad n de Manning
- **Area:** área de la celda
- **Angle:** ángulo mínimo de la celda
- **Total mesh area:** suma de las áreas de todas las celdas de la malla
- **Average cell area:** área total de la malla dividida por el número de celdas
- **Average cell size:** tamaño promedio de las celdas de la malla
- **Cell with minimum area:** celda más pequeña
- **Minimum cell size:** tamaño lineal aproximado de la celda más pequeña
- **Minimum cell area:** área de la celda más pequeña
- **Cell with maximum area:** celda más grande
- **Maximum cell size:** tamaño lineal aproximado de la celda más grande
- **Maximum cell area:** área de la celda más grande
- **Minimum cell angle:** ángulo interno más pequeño de la celda
- **Cell with minimum angle:** celda que tiene el ángulo interno más pequeño

Este archivo también informa de la lista de celdas agudas que tienen un ángulo interno inferior a 5 grados. Si hay celdas agudas, el modelo dará un mensaje de error y no podrá ejecutarse. A continuación se muestra un fragmento de un formato de archivo típico:

```

=====
RiverFlow2D Plus - Release CPU 6.11.01
Build NOV 04 2018
=====
TWO-DIMENSIONAL FINITE-VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
(C) COPYRIGHT 2009-2018 Hydronia, LLC.
ALL RIGHTS RESERVED
RUN DATE: 06/DEC/2018
=====
MESH DATA
=====
Number of elements/cells      :    1803
Number of nodes               :    963

Node      X      Y      BEDEL  Initial WSE  BCType      BC File Name
      (m)    (m)    (m)      (m)
1  798610.25  309314.51  183.62   0.00      6      QIN.DAT
2  798682.26  309383.90  166.34   0.00      6      QIN.DAT
3  798754.27  309453.28  161.56   0.00      6      QIN.DAT
...
73 798854.66  306009.70  164.00   0.00     12      0.03
74 798761.72  306046.62  164.00   0.00     12      0.03
75 798649.18  306091.32  163.47   0.00     12      0.03
...
962 799630.89  307402.41  168.31   0.00      0      0
963 799885.60  305990.72  161.14   0.00      0      0

ELEMENT/CELL CONNECTIVITY AND MANNING'S n

Element  Node1  Node2  Node3  Manning's n  Area  Angle
              m2  deg.
1      897    160    400    0.035    2827.00  40.48
2      363    160    897    0.035    3048.55  36.34
3      623    225    273    0.035    2975.26  46.67
4      124    462    619    0.035    2615.70  48.62
...
1801    858    857    370    0.035    2301.06  54.04
1802    718    935     57    0.035    1679.56  45.25
1803    949     76     75    0.035    1586.29  31.70

=====
Total mesh area      :    0.532E+01 km2.
Average element area :    0.295E+04 m2.
Average element size (approx.) :    76.828 m.
Element with minimum area :    1466
Minimum area         :    1088.114 m2.
Minimum element size (approx.) :    46.650 m.
Element with maximum area :    158
Maximum element size (approx.) :    109.155 m.
Maximum element area   :    5957.432 m2.
Minimum element angle  :    31.699
Element with minimum angle :    1803
Maximum bed elevation  :    0.000
Minimum bed elevation  :    0.000

=====
ACUTE ELEMENT REPORT (Elements with an internal angle less than 22.5 degrees.)

      (Elements with an internal angle less than 5 degree are marked with *<5.)
=====

The mesh has no acute angle elements.

=====
EXTERNAL BOUNDARY NODES (COUNTERCLOCKWISE)
=====
Number of Nodes on Boundary:    122
Node      X      Y
      m.    m.
121  798648.537  309256.390
109  798686.825  309198.266
...
121  798648.537  309256.390

```

## 16.2.5 Archivo de resumen de ejecución .rout

El informe de resumen de ejecución se escribe en un archivo con la extensión .ROUT. Estos archivos informan, para cada intervalo de salida, del tiempo de cálculo, el paso de tiempo promedio y, para cada caudal de entrada (positivo) o de salida (negativo) de un contorno abierto, el caudal ( $\text{m}^2/\text{s}$  o  $\text{ft}^3/\text{s}$ ), el error de conservación de volumen (%), el caudal volumétrico de sedimentos ( $\text{m}^2/\text{s}$  o  $\text{ft}^3/\text{s}$ ) y el error de conservación de masa de sedimentos (%)

### 16.2.5.1 Ejemplo de un archivo .rout

```

=====
RiverFlow2D
Build Nov  4 2018
=====
TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
(C) COPYRIGHT 2009-2018 Hydronia, LLC.
ALL RIGHTS RESERVED
RUN DATE: 06/Dec/2018
=====

MODEL RUN REPORT
=====
TIME          CPU Time      Ave.DT      Open Boundary      Q      Vol. Error      Qs      Mass Error
                (s)
0000:00:06:00  0000:00:00:00      2.222          01      14199.83  0.000e+000      0.00  0.000e+000
                02      0.00  0.000e+000      0.00  0.000e+000
0000:00:12:00  0000:00:00:00      1.809          01      27385.05  0.000e+000      0.00  0.000e+000
                02      0.00  0.000e+000      0.00  0.000e+000
0000:00:18:00  0000:00:00:00      1.565          01      40561.07  5.035e-014      0.00  5.035e-014
                02      6297.06  5.035e-014      0.00  5.035e-014
0000:00:24:00  0000:00:00:00      1.422          01      53797.19  0.000e+000      0.00  0.000e+000
                02      28126.91  0.000e+000      0.00  0.000e+000
0000:00:30:00  0000:00:00:00      1.332          01      66987.93  0.000e+000      0.00  0.000e+000
                02      45701.26  0.000e+000      0.00  0.000e+000
0000:00:36:00  0000:00:00:00      1.268          01      67000.00  1.653e-014      0.00  1.653e-014
                02      62257.67  1.653e-014      0.00  1.653e-014
0000:00:42:00  0000:00:00:01      1.222          01      67000.00  3.240e-014      0.00  3.240e-014
                02      65813.14  3.240e-014      0.00  3.240e-014
0000:00:48:00  0000:00:00:01      1.190          01      67000.00  0.000e+000      0.00  0.000e+000
                02      66716.17  0.000e+000      0.00  0.000e+000
0000:00:54:00  0000:00:00:01      1.166          01      67000.00  0.000e+000      0.00  0.000e+000
                02      66585.47  0.000e+000      0.00  0.000e+000
0000:01:00:00  0000:00:00:01      1.148          01      67000.00  3.219e-014      0.00  3.219e-014
                02      66985.45  3.219e-014      0.00  3.219e-014
0000:01:06:00  0000:00:00:02      1.133          01      67000.00  4.828e-014      0.00  4.828e-014
                02      66998.03  4.828e-014      0.00  4.828e-014
0000:01:12:00  0000:00:00:02      1.122          01      67000.00  6.438e-014      0.00  6.438e-014
                02      66996.58  6.438e-014      0.00  6.438e-014
0000:01:18:00  0000:00:00:02      1.111          01      67000.00  0.000e+000      0.00  0.000e+000
                02      67000.48  0.000e+000      0.00  0.000e+000
0000:01:24:00  0000:00:00:02      1.103          01      67000.00  0.000e+000      0.00  0.000e+000
                02      66999.88  0.000e+000      0.00  0.000e+000
0000:01:30:00  0000:00:00:02      1.096          01      67000.00  3.219e-014      0.00  3.219e-014
                02      66650.54  3.219e-014      0.00  3.219e-014
0000:01:36:00  0000:00:00:03      1.090          01      67000.00  1.609e-014      0.00  1.609e-014
                02      66652.01  1.609e-014      0.00  1.609e-014
0000:01:42:00  0000:00:00:03      1.085          01      67000.00  3.219e-014      0.00  3.219e-014
                02      67001.08  3.219e-014      0.00  3.219e-014
0000:01:48:00  0000:00:00:03      1.080          01      67000.00  1.609e-014      0.00  1.609e-014
                02      66651.90  1.609e-014      0.00  1.609e-014
0000:01:54:00  0000:00:00:03      1.076          01      67000.00  4.828e-014      0.00  4.828e-014
                02      66648.49  4.828e-014      0.00  4.828e-014
0000:02:00:00  0000:00:00:03      1.072          01      67000.00  0.000e+000      0.00  0.000e+000
                02      66651.47  0.000e+000      0.00  0.000e+000
=====
MAXIMUM VALUES AT CELLS FILES CREATED.  3.125000E-02
FLOOD HAZARD AT CELLS FILES CREATED  1.562500E-02
PROGRAM EXECUTION AND OUTPUT PROCESS COMPLETED.

```

## 16.2.6 Tabla de valores máximos .maxi y .maxe Archivos

Estos archivos informan los valores nodales máximos del módulo de velocidad, la profundidad, las elevaciones de la superficie del agua y los cambios del lecho durante toda la simulación. .MAXI

está en unidades métricas y .MAXE en unidades inglesas. Las variables informadas se describen en las tablas siguientes:

- **CELL:** Número de celda; -; -
- **2:** VELOCITY; Magnitud máxima de la velocidad  $\sqrt{U^2 + V^2}$ ; ft/s; m/s
- **3:** DEPTH; Profundidad máxima del agua; ft; m
- **4:** WSEL; Elevación máxima de la superficie del agua; ft; m
- **6:** DEPTHxVEL; Producto máximo de la profundidad y la velocidad; ft<sup>2</sup>/s; m<sup>2</sup>/s
- **7:** SHEAR STRESS; Esfuerzo cortante máximo; lb/ft<sup>2</sup>; Pa
- **8:** IMPACT FORCE; Fuerza unitaria máxima de impacto; lb/ft; N/m
- **CELL:** Número de celda; -; -
- **2:** VELOCITY; Magnitud máxima de la velocidad  $\sqrt{U^2 + V^2}$ ; ft/s; m/s
- **3:** DEPTH; Profundidad máxima del agua; ft; m
- **4:** WSEL; Elevación máxima de la superficie del agua; ft; m
- **5:** DEPTHxVEL; Producto máximo de la profundidad y la velocidad; ft<sup>2</sup>/s; m<sup>2</sup>/s
- **6:** BED ELEV.; Elevación máxima del lecho; ft; m
- **7:** MIN BED ELEV.; Elevación mínima del lecho; ft; m
- **8:** EROS. DEPTH; Profundidad máxima de erosión; ft; m
- **9:** DEPOS. DEPTH; Profundidad máxima de deposición; ft; m
- **10:** SHEAR STRESS; Esfuerzo cortante máximo; lb/ft<sup>2</sup>; Pa
- **11:** IMPACT FORCE; Fuerza unitaria máxima de impacto por unidad de ancho; lb/ft; N/m

Un archivo de salida típico es el siguiente:

```

=====
RiverFlow2D Plus - Release CPU 6.11.01
Build NOV 04 2018
=====
TWO-DIMENSIONAL FINITE-VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
(C) COPYRIGHT 2009-2018 Hydronia, LLC.
ALL RIGHTS RESERVED
RUN DATE: 14/DEC/2018
=====

ALL COLUMNS INDICATE TO MAXIMUM VALUES AT THE CORRESPONDING CELL IN SI UNITS

CELL    VELOCITY    DEPTH    WSEL    DEPTHxVEL    SHEAR STRESS    IMPACT FORCE
      (m/s)      (m)      (m)      (m2/s)      (Pa)            (kg/m)
1      3.851      9.021    168.865    34.738      0.856E+02      0.533E+06
2      5.563      4.271    168.024    22.461      0.270E+03      0.208E+06
3      6.428      17.949    179.659    114.008     0.192E+03      0.230E+07
4      6.385      8.082    174.646    51.608      0.244E+03      0.650E+06
5      5.120      5.624    167.624    28.796      0.177E+03      0.303E+06
6      5.526      5.352    167.666    29.572      0.210E+03      0.304E+06
7      5.567      15.771    179.474    87.580      0.149E+03      0.171E+07
8      6.077      13.357    177.966    81.176      0.188E+03      0.137E+07
9      6.780      10.889    177.887    73.443      0.250E+03      0.108E+07
10     4.487      10.128    175.067    45.447      0.112E+03      0.707E+06
11     10.115     13.293    169.890    129.237     0.547E+03      0.212E+07
12     5.344      5.811    174.766    31.052      0.191E+03      0.332E+06
13     5.374      5.765    174.959    30.977      0.194E+03      0.329E+06
14     9.451      13.711    170.477    127.030     0.453E+03      0.210E+07
15     3.272      14.252    168.286    46.510      0.553E+02      0.115E+07
16     7.696      19.229    173.812    147.994     0.275E+03      0.295E+07
17     7.014      4.225    167.569    15.600      0.137E+04      0.145E+06
18     7.090      22.327    178.037    127.759     0.282E+03      0.318E+07
19     5.706      18.560    180.811    105.900     0.148E+03      0.229E+07
20     4.415      28.418    179.450    73.028      0.128E+03      0.415E+07
21     6.554      14.428    179.029    94.027      0.251E+03      0.163E+07
22     8.153      15.484    170.203    126.137     0.323E+03      0.220E+07
23     3.789      5.325    174.986    20.141      0.119E+03      0.215E+06
24     2.564      3.099    168.720     5.561      0.724E+02      0.571E+05

```

## 16.2.7 Salida de puntos de observación

Estos archivos informan series temporales de resultados en puntos de observación. El programa encuentra la celda donde se encuentra el punto de observación y escribe la serie temporal de resultados de las siguientes variables:

- **Time:** Tiempo en horas; -;
- **2:** U; Componente de velocidad en la dirección x; ft; m
- **3:** V; Componente de velocidad en la dirección y; ft; m
- **4:** VELOCITY; Magnitud máxima de la velocidad  $\sqrt{U^2 + V^2}$ ; ft/s; m/s
- **5:** DEPTH; Profundidad máxima del agua; ft; m
- **6:** WSEL; Elevación máxima del agua; ft; m
- **7:** BEDEL\_ORI; Elevación máxima del lecho\*; ft; m
- **8:** BEDEL; Elevación máxima del lecho\*; ft; m
- **9:** DELTA\_BED; Profundidad mínima de erosión\*; ft; m
- **10:** Froude; Profundidad máxima de deposición\*; ft; m
- **11:** QSX; Descarga volumétrica de sedimentos por unidad de ancho en la dirección x; ft<sup>2</sup>/s; m<sup>2</sup>/s
- **12:** QSY; Descarga volumétrica de sedimentos por unidad de ancho en la dirección y; ft<sup>2</sup>/s; m<sup>2</sup>/s
- **13:** QS; Magnitud de la descarga volumétrica de sedimentos  $Q_s = \sqrt{Q_{sx}^2 + Q_{sy}^2}$ ; ft<sup>2</sup>/s; m<sup>2</sup>/s

El nombre de archivo para cada punto de observación es: RESvsT\_NCELDA.OUTI para unidades métricas y RESvsT\_NCELDA.OUTE para unidades inglesas. Donde NCELDA es el nombre asignado al punto de observación. Por ejemplo: RESvsT\_0000010.OUTI es el nombre de archivo para los resultados de la serie temporal de la celda 10. A continuación se muestra un ejemplo de este archivo.

```

=====
RiverFlow2D
Build May 16 2018
=====
TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
(C) COPYRIGHT 2009-2018 Hydronia, LLC.
ALL RIGHTS RESERVED
RUN DATE: 14/Oct/2018
=====

RESULTS FOR CELL: 6781 OBSERVATION POINT ID: ptObs1
LOCATED AT COORDINATE: ( 799401.88),( 305706.13)

TIME          U          V          VELOCITY    DEPTH    WSEL    BEDEL_ORI    BEDEL    DELTA_BED    FROUDE    QSX          QSY          QS
(hours)      (ft/s)      (ft/s)      (ft/s)      (ft)      (ft)      (ft)      (ft)      (ft)      (ft)      (ft2/s)      (ft2/s)      (ft2/s)
0.10000      0.000      0.000      0.000      0.000      154.219    154.219    154.219    0.000      0.000      0.00E+00      0.00E+00      0.00E+00
0.20000      0.000      0.000      0.000      0.000      154.219    154.219    154.219    0.000      0.000      0.00E+00      0.00E+00      0.00E+00
0.30000      0.000      0.000      0.000      0.000      154.219    154.219    154.219    0.000      0.000      0.00E+00      0.00E+00      0.00E+00
0.40000      0.000      0.000      0.000      0.000      154.219    154.219    154.219    0.000      0.000      0.00E+00      0.00E+00      0.00E+00
0.50000      -2.754     -6.195     6.780      4.999      159.218    154.219    154.219    0.000      0.535      0.000      0.000      0.000
0.60000      -3.817     -8.471     9.291      7.505      161.724    154.219    154.219    0.000      0.598      0.000      0.000      0.000
0.70000      -4.055     -9.247     10.097     8.462      162.681    154.219    154.219    0.000      0.612      0.000      0.000      0.000
0.80000      -4.091     -9.706     10.533     9.085      163.304    154.219    154.219    0.000      0.616      0.000      0.000      0.000
0.90000      -4.107     -10.049    10.856     9.589      163.808    154.219    154.219    0.000      0.618      0.000      0.000      0.000
1.00000      -4.103     -10.332    11.117    10.043      164.262    154.219    154.219    0.000      0.618      0.000      0.000      0.000
1.10000      -4.130     -10.516    11.298    10.358      164.577    154.219    154.219    0.000      0.619      0.000      0.000      0.000
1.20000      -4.153     -10.550    11.338    10.422      164.641    154.219    154.219    0.000      0.619      0.000      0.000      0.000
1.30000      -4.164     -10.560    11.352    10.435      164.654    154.219    154.219    0.000      0.620      0.000      0.000      0.000
1.40000      -4.172     -10.564    11.358    10.440      164.659    154.219    154.219    0.000      0.620      0.000      0.000      0.000
1.50000      -4.185     -10.569    11.367    10.443      164.662    154.219    154.219    0.000      0.620      0.000      0.000      0.000
1.60000      -4.199     -10.576    11.379    10.446      164.665    154.219    154.219    0.000      0.621      0.000      0.000      0.000
1.70000      -4.213     -10.582    11.390    10.450      164.669    154.219    154.219    0.000      0.621      0.000      0.000      0.000
1.80000      -4.236     -10.577    11.394    10.451      164.670    154.219    154.219    0.000      0.621      0.000      0.000      0.000
1.90000      -4.253     -10.590    11.412    10.454      164.673    154.219    154.219    0.000      0.622      0.000      0.000      0.000
2.00000      -4.270     -10.606    11.434    10.457      164.676    154.219    154.219    0.000      0.623      0.000      0.000      0.000

```

## 16.2.8 Archivo 2binitialized.hotstart de inicio en caliente (versión 10, 2026)

El archivo 2 binitialized . hotstart reinicia una simulación a partir de resultados calculados previamente cuando se selecciona la opción **Hot start**. De forma predeterminada, el archivo contiene los valores del último informe escrito por el modelo. El código de tiempo de origen-salida selecciona el archivo utilizado como condiciones iniciales, mientras que el tiempo y el índice de salida establecen los valores de la simulación reiniciada:

- TIME: tiempo de reinicio en segundos.
- DDDD\_HH\_MM\_SS: código de tiempo para el archivo de origen cell\_time\_DDDD\_HH\_MM\_SS.textout.
- IDX: índice de salida del reinicio.

Los resultados del archivo cell\_time\_DDDD\_HH\_MM\_SS.textout referenciado se utilizan como condiciones iniciales para todas las celdas de la malla cuando se reinicia la simulación. Por ejemplo, si la simulación se detiene después de 5 horas y el intervalo de informe es de 1 hora, 2 binitialized . hotstart contiene:

```
18000  0000_05_00_00  5
```

RiverFlow2D puede reiniciarse desde cualquier hora de informe existente leyendo las condiciones iniciales del archivo cell\_time\_DDDD\_HH\_MM\_SS.textout identificado en 2 binitialized . hotstart. Para reiniciar desde una hora distinta de la del último informe calculado, edite 2 binitialized . hotstart con el tiempo deseado en segundos, su código de tiempo correspondiente y el índice de salida. Por ejemplo, para iniciar en caliente desde la hora 3 (10,800 segundos) cuando el intervalo de informe es de 1 hora, use:

```
10800  0000_03_00_00  3
```

La opción **Hot start** es útil para establecer condiciones iniciales comunes a una serie de simulaciones, como diferentes períodos de retorno. Por ejemplo, ejecute el modelo con una entrada de

caudal constante hasta que converja al estado estacionario. Para comenzar un nuevo escenario en el tiempo cero utilizando `cell_time_0000_24_00_00.textout` como condición inicial, conserve su código de tiempo de origen-salida y establezca `TIME` e `IDX` en 0:

```
0 0000_24_00_00 0
```

Cuando RiverFlow2D se ejecuta con **Hot start** habilitado, los datos de `cell_time_0000_24_00_00.textout` definen las condiciones iniciales. Puede conservar `2 binitialized .hotstart` y el archivo de salida basado en el tiempo seleccionado en un directorio separado y copiarlos a la carpeta del proyecto para cada escenario.

**Nota:** Los archivos `cell_time_DDDD_HH_MM_SS.textout` están vinculados a la malla utilizada para crearlos. Si modifica la malla de alguna manera, utilice un archivo creado para esa malla.

## 16.2.9 Establecimiento de condiciones iniciales más complejas mediante el archivo `.INITIALSTATE` [Disponible solo para el módulo MT]

Al modelar fallas de presas de relaves con el módulo MT de RiverFlow2D, puede ser necesario definir las elevaciones iniciales de la presa y del depósito de relaves y, al mismo tiempo, tener en cuenta un flujo fluvial existente aguas abajo de la presa. En esta situación, la simulación de la falla de la presa debe comenzar únicamente después de que el flujo fluvial inicial se haya estabilizado. Siga estos pasos:

1. Ejecute una simulación base inicial que represente el flujo fluvial y cualquier otra condición existente antes de la falla de la presa. Ejecute la simulación durante el tiempo suficiente para permitir que el flujo se estabilice. Deshabilite las condiciones iniciales del depósito, como *Read initial water elevs. from FED file*, porque esta simulación solo debe establecer el flujo fluvial inicial mientras la presa permanece en su lugar.
2. Una vez completada la simulación base, abra la carpeta del proyecto y localice `mudInitialState.out`. Duplique este archivo y cambie el nombre de la copia utilizando el nombre del caso exportado seguido de la extensión `.INITIALSTATE`. Por ejemplo, si el nombre del caso exportado es `Run2`, cambie el nombre del archivo a `Run2.INITIALSTATE`.
3. Asegúrese de que el número de clases de materiales y las características de la malla sean idénticos en ambas simulaciones.
4. Configure y ejecute la simulación de la falla de la presa con las elevaciones iniciales del depósito de relaves definidas mediante un ráster o polígonos *initialWSE*. Seleccione *Read initial water elevs. from FED file*, pero **no seleccione la opción Hotstart**. El modelo detecta automáticamente el archivo `.INITIALSTATE` correspondiente en la carpeta del proyecto y utiliza el estado almacenado en ese archivo para cada celda que estaba mojada al final de la simulación base. Las elevaciones iniciales del depósito de relaves se obtienen del ráster o los polígonos *initialWSE* especificados.

**Nota:** Este procedimiento no funciona cuando se selecciona la opción **Hotstart**.

## 16.2.10 Archivo de salida del balance de masas

EI

El archivo informa sobre el balance global de masa/volumen durante toda la simulación. El contenido del archivo varía según el módulo utilizado, de acuerdo con el siguiente formato:

**RiverFlow2D–Hydrodynamics** Columna 1: Tiempo Columna 2: Entrada acumulada de volumen de agua Columna 3: Salida acumulada de volumen de agua Columna 4: Volumen interno de agua Columna 5: Volumen acumulado de agua por lluvia/evaporación Columna 6: Volumen acumulado de agua por infiltración

**RiverFlow2D–PL** Columna 1: Tiempo Columna 2: Entrada acumulada de volumen de agua Columna 3: Salida acumulada de volumen de agua Columna 4: Volumen interno de agua Columna 5: Volumen acumulado de agua por lluvia/evaporación Columna 6: Volumen acumulado de agua por infiltración Columna 7: Entrada acumulada de volumen de solute\_1 Columna 8: Salida acumulada de volumen de solute\_1 Columna 9: Volumen interno de solute\_1 Columna 10: Volumen acumulado de captación de solute\_1 : Columna 11+k: Entrada acumulada de volumen de solute\_k Columna 12+k: Salida acumulada de volumen de solute\_k Columna 13+k: Volumen interno de solute\_k Columna 14+k: Volumen acumulado de captación de solute\_k

**RiverFlow2D–WQ** Columna 1: Tiempo Columna 2: Entrada acumulada de volumen de agua Columna 3: Salida acumulada de volumen de agua Columna 4: Volumen interno de agua Columna 5: Volumen acumulado de agua por lluvia/evaporación Columna 6: Volumen acumulado de agua por infiltración Columna 7: Entrada acumulada de volumen de solute\_1 Columna 8: Salida acumulada de volumen de solute\_1 Columna 9: Volumen interno de solute\_1 Columna 10: Volumen acumulado de captación de solute\_1 : Columna 11+k: Entrada acumulada de volumen de solute\_k Columna 12+k: Salida acumulada de volumen de solute\_k Columna 13+k: Volumen interno de solute\_k Columna 14+k: Volumen acumulado de captación de solute\_k

**RiverFlow2D–UD** Columna 1: Tiempo Columna 2: Entrada acumulada de volumen de agua Columna 3: Salida acumulada de volumen de agua Columna 4: Volumen interno de agua Columna 5: Volumen acumulado de agua por lluvia/evaporación Columna 6: Volumen acumulado de agua por infiltración

**RiverFlow2D–ST Transporte de carga de fondo** Columna 1: Tiempo Columna 2: Entrada acumulada de volumen de agua Columna 3: Salida acumulada de volumen de agua Columna 4: Volumen interno de agua Columna 5: Volumen acumulado de agua por lluvia/evaporación Columna 6: Volumen acumulado de agua por infiltración Columna 7: Entrada acumulada de volumen de sólidos Columna 8: Salida acumulada de volumen de sólidos Columna 9: Volumen interno de sólidos Columna 10: *NULL*

**RiverFlow2D–ST Transporte en suspensión** Columna 1: Tiempo Columna 2: Entrada acumulada de volumen de agua+sólidos Columna 3: Salida acumulada de volumen de agua+sólidos Columna 4: Volumen interno de agua+sólidos Columna 5: Volumen acumulado de agua por lluvia/evaporación Columna 6: Volumen acumulado de agua por infiltración Columna 7: Entrada acumulada de volumen de sólidos Columna 8: Salida acumulada de volumen de sólidos Columna 9: Volumen interno de sólidos Columna 10: Volumen acumulado de agua+sólidos intercambiado con el lecho

**RiverFlow2D–MT** Columna 1: Tiempo Columna 2: Entrada acumulada de volumen de lodos/relaves Columna 3: Entrada acumulada de masa de lodos/relaves Columna 4: Salida acumulada de volumen de lodos/relaves Columna 5: Salida acumulada de masa de lodos/relaves Columna 6: Volumen interno de lodos/relaves Columna 7: Masa interna de lodos/relaves Columna 8: Volumen acumulado de agua de lluvia Columna 9: Masa acumulada de agua de lluvia Columna 10: Volumen acumulado de lodos/relaves intercambiado con el lecho Columna 11: Masa acumulada de lodos/relaves intercambiada con el lecho

**OilFlow2D** Columna 1: Tiempo Columna 2: Entrada acumulada de volumen de aceite Columna 3: Salida acumulada de volumen de aceite Columna 4: Volumen interno de aceite Columna 5: Volumen acumulado de aceite por captación/evaporación Columna 6: Volu-



men acumulado de aceite por infiltración **OilFlow2D-HT** Columna 1: Tiempo Columna 2: Entrada acumulada de volumen de aceite Columna 3: Entrada acumulada de masa de aceite Columna 4: Salida acumulada de volumen de aceite Columna 5: Salida acumulada de masa de aceite Columna 6: Volumen interno de aceite Columna 7: Masa interna de aceite Columna 8: *NULL* Columna 9: *NULL* Columna 10: *NULL* Columna 11: *NULL*

## 16.3 Archivos de salida de componentes

### 16.3.1 Archivo de salida de Booms .OUTBOOMS

Al considerar Booms en el modelo de derrame de petróleo sobre agua OilFlow2D, se crea un archivo de salida con extensión .OUTBOOMS, que informa sobre los volúmenes de petróleo o plástico, en bbl y m<sup>3</sup>, retenidos por cada barrera y para cada intervalo de salida:

OIL/PLASTIC BOOM RETENTION BALANCE (BBL and m3)

| TIME<br>(hr) | BOOM_1<br>(bbl) | BOOM_2<br>(bbl) | BOOM_1<br>(m3) | BOOM_2<br>(m3) |
|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| 0.10         | 0.00            | 0.00            | 0.00           | 0.00           |
| 0.20         | 201.27          | 0.00            | 32.00          | 0.00           |
| 0.30         | 3295.86         | 176.11          | 524.00         | 28.00          |
| 0.40         | 4100.96         | 578.66          | 652.00         | 92.00          |
| 0.50         | 4453.19         | 1006.37         | 708.00         | 160.00         |
| 0.60         | 4830.57         | 1509.55         | 768.00         | 240.00         |
| 0.70         | 4981.53         | 1987.58         | 792.00         | 316.00         |
| 0.80         | 5107.33         | 2440.45         | 812.00         | 388.00         |
| 0.90         | 5207.96         | 2717.20         | 828.00         | 432.00         |
| 1.00         | 5333.76         | 3069.43         | 848.00         | 488.00         |
| 1.10         | 5459.56         | 3295.86         | 868.00         | 524.00         |
| 1.20         | 5610.51         | 3924.84         | 892.00         | 624.00         |
| 1.30         | 5836.94         | 4327.39         | 928.00         | 688.00         |
| 1.40         | 6038.22         | 4679.62         | 960.00         | 744.00         |
| 1.50         | 6214.33         | 5283.44         | 988.00         | 840.00         |
| 1.60         | 6491.08         | 5585.35         | 1032.00        | 888.00         |
| 1.70         | 6767.84         | 6113.70         | 1076.00        | 972.00         |
| 1.80         | 6893.63         | 6465.93         | 1096.00        | 1028.00        |
| 1.90         | 7195.54         | 6742.68         | 1144.00        | 1072.00        |
| 2.00         | 7296.18         | 7120.07         | 1160.00        | 1132.00        |

### 16.3.2 Archivos de salida de alcantarillas CULVERT\_culvertID.out

Para cada alcantarilla, RiverFlow2D crea un archivo de salida llamado CULVERT\_culvertID.OUT, donde culvertID es el texto proporcionado por el usuario para identificar la alcantarilla. El informe incluye el caudal para cada intervalo de informe y las elevaciones de la superficie del agua (WSEL1, WSEL2) en cada extremo de la alcantarilla, como se muestra:

```

=====
=====
RiverFlow2D
Build Jun 29 2018
=====
TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
(C) COPYRIGHT 2009-2018 Hydronia, LLC.
ALL RIGHTS RESERVED
RUN DATE: 20/Aug/2018
=====

Results for Culvert no.: 1 Culvert ID: Ret01
=====
Time      Qc      WSEL1      WSEL2
hrs.      m3/s      m.         m.
0.10000  0.000  843.631  843.572
0.20000  14.427  844.737  843.572
0.30000  16.703  844.220  844.091
0.40000  17.093  843.993  844.321
0.50000  17.264  844.496  843.926
0.60000  20.183  844.151  844.228
0.70000  20.222  843.699  844.605
0.80000  20.292  844.911  843.615
0.90000  18.133  843.631  844.699
1.00000  21.038  843.929  844.507

```

### 16.3.3 Archivos de tablas de clasificación internas IRT\_irtID.out

Para cada Internal Rating Table, RiverFlow2D crea un archivo de salida llamado IRT\_irtID.OUT, donde irtID es el texto proporcionado por el usuario para identificar la Internal Rating Table. El informe incluye el caudal para cada intervalo de informe, como se muestra:

```

=====
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

```

### 16.3.4 Archivos de salida de vertederos .weiri y .weire

Estos archivos informan los resultados para cada vertedero y para cada intervalo de salida. La extensión del archivo es .WEIRI para unidades métricas y .WEIRE para unidades inglesas. La salida incluye la siguiente información:

- **EDGE:** Número de borde
- **N1:** Celda en el lado 1 del borde
- **N2:** Celda en el lado 2 del borde
- **WSE1:** Elevación de la superficie del agua en la celda N1
- **WSE2:** Elevación de la superficie del agua en la celda N2
- **D1:** Profundidad en la celda N1
- **D2:** Profundidad en la celda N2
- **Distance:** Longitud del borde
- **Q:** Caudal del borde

A continuación se muestra un formato típico de archivo de salida de vertedero:

```
=====
WEIR RESULTS IN SI UNITS
| TIME: 0000 days,07 hours,30 min.,00 secs.
WEIR NO.: 1 WEIR ID: weir6
EDGE      N1      N2      WSE1      WSE2      D1      D2      Distance      Q
          (m)      (m)      (m)      (m)      (m)      (m)      (m)      (m3/s)
1    208257    24110    527.13    527.14    0.63    3.14    6.00    0.20
2    208259    24105    527.13    527.14    0.63    3.14    6.00    0.24
3    208261    24101    527.13    527.14    0.63    3.14    6.00    0.25
4    208263    24085    527.13    527.14    0.63    3.14    6.00    0.25
5    208265    1800     527.13    527.14    0.63    3.14    6.00    0.25
6    208267    909      527.13    527.14    0.63    3.14    6.00    0.25
7    208269    111      527.14    527.14    0.64    3.14    6.00    0.15
Total discharge over weir Q = 1.597 m3/s
```

## 16.4 Archivos de salida de secciones transversales y perfiles

### 16.4.1 Archivos generales de secciones transversales .xseci y .xsece

Al utilizar la opción *Output results* para *cross sections*, el modelo generará archivos con las extensiones .XSECI y .XSECE, que informan los resultados a lo largo de las secciones transversales proporcionadas por el usuario. Para cada intervalo de salida y para cada sección transversal definida por el usuario, se escriben en el archivo la elevación del lecho, la profundidad, la elevación de la superficie del agua, la velocidad promediada en profundidad, el número de Froude y el caudal volumétrico de sedimentos por unidad de ancho. .XSECI contiene las unidades métricas y .XSECE las unidades inglesas. Un archivo típico es el siguiente:

```

=====
=====
RiverFlow2D
Build Nov  4 2018
=====
TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
(C) COPYRIGHT 2009-2018 Hydronia, LLC.
ALL RIGHTS RESERVED
RUN DATE: 07/Dec/2018
=====

```

## CROSS SECTION RESULTS IN SI UNITS

CROSS SECTION NO.: 1 CROSS SECTION ID: X1

```

(      243546.87,      94395.30), (      243406.27,      94246.14)
ELEM  STATION  BEDEL  DEPTH  WSEL  VELOCITY  FROUDE  QS
      (m)      (m)      (m)      (m)      (m/s)      (m2/s)
259    33.13    51.61    2.31    53.92    3.73    0.78  0.000000
589    39.34    51.52    2.47    53.99    3.63    0.74  0.000000
1733   57.97    49.68    4.26    53.94    4.09    0.63  0.000000
1676   72.47    48.98    5.09    54.08    3.58    0.51  0.000000
1584   78.68    48.59    5.43    54.02    3.74    0.51  0.000000
1731   89.03    48.84    5.09    53.93    3.94    0.56  0.000000
1848   99.38    49.06    4.88    53.93    3.76    0.54  0.000000
1841  107.67    49.21    4.70    53.91    3.83    0.56  0.000000
1393  120.09    49.45    4.41    53.86    3.57    0.54  0.000000
1654  138.72    49.44    4.45    53.89    3.41    0.52  0.000000
1793  140.79    49.59    4.53    54.13    2.32    0.35  0.000000
184   144.94    51.55    1.87    53.42    4.73    1.11  0.000000

```

Q = 1905.999 m3/s.

Al ejecutar únicamente la hidrodinámica, los archivos .XSECE y .XSECI mostrarán el caudal de agua de la sección transversal. Al ejecutar el transporte de sedimentos, además del caudal de agua, estos archivos informarán el caudal total de sedimentos en ft<sup>3</sup>/s o m<sup>3</sup>/s.

## 16.4.2 Archivos de hidrogramas de secciones transversales .xsech y .xsecsed

Estos archivos solo se generarán mediante el botón de posprocesamiento Plot RiverFlow2D results del panel *Graphic Output Options*. Al utilizar la opción *Output results for cross sections*, el modelo generará archivos con extensión .XSECH y .XSECSed (si se utiliza el componente de transporte de sedimentos), que informan una tabla de hidrograma para cada sección transversal. Un archivo .XSECH típico

típico es el siguiente:

```

=====
RiverFlow2D
Build Nov  4 2018
=====
TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
(C) COPYRIGHT 2009-2018 Hydronia, LLC.
ALL RIGHTS RESERVED
RUN DATE: 07/Dec/2018
=====

Hydrograph for cross sections in m^3/s, time in hours

Time      Q-X1      Q-x2      Q-x3
0.000000  -0.000    -0.000    -0.000
0.100000  198.264   -0.000    -0.000
0.200000  387.976   180.700    -0.000
0.300000  564.022   407.099   134.082
0.400000  757.734   596.830   435.154
0.500000  950.410   810.896   656.584
0.600000  1142.998  1017.487   901.355
0.700000  1333.144  1224.109  1120.433
0.800000  1523.201  1416.349  1308.080
0.900000  1712.219  1612.098  1501.255
1.000000  1901.146  1804.103  1705.973
1.100000  1905.654  1877.983  1858.916
1.200000  1905.948  1884.967  1888.445
1.300000  1905.992  1885.975  1892.804
1.400000  1905.999  1886.126  1893.624
1.500000  1906.000  1886.320  1892.845
1.600000  1905.999  1886.168  1893.636
1.700000  1905.999  1886.166  1893.388
1.800000  1905.999  1886.166  1893.357
1.900000  1905.999  1886.165  1893.359
2.000000  1905.999  1886.165  1893.363

```

### 16.4.3 Archivos de perfiles .prfi y .prfe

Al utilizar la opción *Output results for profiles*, el modelo generará archivos con las extensiones .PRFI y .PRFE, que informan los resultados a lo largo de las polilíneas proporcionadas por el usuario. Para cada intervalo de salida y para el número de puntos a lo largo de las polilíneas definidas por el usuario, estos archivos enumeran la elevación del lecho, la profundidad, la elevación de la superficie del agua, la velocidad promediada en profundidad y el número de Froude. .PRFI está en unidades métricas y .PRFE en unidades inglesas. A continuación se muestra un ejemplo de salida:

```

=====
RiverFlow2D
Build Nov  4 2018
=====
TWO-DIMENSIONAL FINITE VOLUME RIVER DYNAMICS MODEL
(C) COPYRIGHT 2009-2018 Hydronia, LLC.
ALL RIGHTS RESERVED
RUN DATE: 07/Dec/2018
=====

PROFILE RESULTS IN SI UNITS

TIME: 0000 days,00 hours,00 min.,00 secs.

PROFILE NO.: 1 PROFILE ID: Perfill1

ELEM  DISTANCE  BEDEL  DEPTH  WSEL  VELOCITY  FROUDE
      (m)      (m)      (m)      (m)      (m/s)
527    17.52    49.16    0.50    49.66    0.00    0.00
1458   35.04    48.91    0.75    49.66    0.00    0.00
1092   52.56    48.85    0.00    48.85    0.00    0.00
1731   70.08    48.84    0.00    48.84    0.00    0.00
1707   87.60    49.15    0.00    49.15    0.00    0.00
1298  105.13    49.01    0.00    49.01    0.00    0.00
517   122.65    49.11    0.00    49.11    0.00    0.00
1568  140.17    49.01    0.00    49.01    0.00    0.00
1402  157.69    48.96    0.00    48.96    0.00    0.00
967   175.21    48.93    0.00    48.93    0.00    0.00
1678  192.73    48.76    0.00    48.76    0.00    0.00
1736  210.25    48.78    0.00    48.78    0.00    0.00
182   227.77    48.82    0.00    48.82    0.00    0.00
162   245.29    48.97    0.00    48.97    0.00    0.00
238   262.81    48.88    0.00    48.88    0.00    0.00
64    278.94    49.13    0.00    49.13    0.00    0.00
25    295.07    49.16    0.00    49.16    0.00    0.00
176   311.20    48.99    0.00    48.99    0.00    0.00

```

## 16.5 Archivos de salida para posprocesamiento en QGIS

### 16.5.1 Resultados generales en las celdas

Estos archivos ASCII permiten una transferencia fluida al software del Sistema de Información Geográfica QGIS. Estos archivos utilizan la extensión .textout y se nombran de la siguiente manera:

cell\_time\_metric\_DDDD\_HH\_MM\_SS.textout (unidades métricas), cell\_time\_eng\_DDDD\_HH\_MM\_SS.textout (unidades inglesas) o cell\_time\_DDDD\_HH\_MM\_SS.textout (salida sin unidades). Donde DDDD

son los días, HH son las horas, MM son los minutos y SS son los segundos. Por ejemplo, cell\_time\_eng\_0001\_12\_01\_34.text corresponde a un archivo para el tiempo: 1 día, 12 horas, 1 minuto y 34 segundos.

El formato de estos archivos es el siguiente. La primera línea contiene el número de celdas (NELEM) y el número de parámetros de celda, que es 16. A continuación siguen NELEM líneas con los resultados para cada celda de la malla de celdas triangulares, como se muestra:

- **Componente de velocidad en dirección x U:** ft/s; m/s
- **2:** Componente de velocidad en dirección y V; ft/s; m/s

- **3:** Magnitud de la velocidad  $|\vec{U}| = \sqrt{U^2 + V^2}$ ; ft/s; m/s
- **4:** Elevación de la superficie del agua; ft; m
- **5:** Profundidad H; ft; m
- **6:** Elevación inicial del lecho; ft; m
- **7:** Elevación del lecho; ft; m
- **8:** Cambio de la elevación del lecho desde el tiempo = 0; ft; m
- **9:** Número de Froude; -; -
- **10:** Caudal volumétrico de sedimentos por unidad de ancho en dirección x:  $Q_{sx}$ ; ft<sup>2</sup>/s; m<sup>2</sup>/s
- **11:** Caudal volumétrico de sedimentos por unidad de ancho en dirección y:  $Q_{sy}$ ; ft<sup>2</sup>/s; m<sup>2</sup>/s
- **12:** Magnitud del caudal volumétrico de sedimentos:  $Q_s \sqrt{Q_{sx}^2 + Q_{sy}^2}$ ; ft<sup>2</sup>/s; m<sup>2</sup>/s
- **13:** Esfuerzo cortante del lecho\*; lb/ft<sup>2</sup>; Pa &  $\tau = \gamma H S_f = \gamma (U_n/k)^2 / H^{1/3}$  &
- **14:** Volumen acumulado de lluvia; ft<sup>3</sup>; m<sup>3</sup>
- **15:** Volumen acumulado de infiltración; ft<sup>3</sup>; m<sup>3</sup>
- **16:** n de Manning; -; -

### 16.5.2 Archivos de concentración de derrames de petróleo en tierra considerando la transferencia de calor (módulo OilFlow2D Overland Spills)

Estos archivos ASCII contienen las propiedades del petróleo para cada celda cuando el usuario selecciona la opción de calcular la transferencia de calor en el modelo OilFlow2D. Estos archivos utilizan la extensión .textout y se nombran de la siguiente manera: cell\_ol\_DDDD\_HH\_MM\_SS.textout. Donde DDDD son los días, HH son las horas, MM son los minutos y SS son los segundos. Por ejemplo, cell\_ol\_0001\_12\_01\_34.textout corresponde a un archivo para el tiempo: 1 día, 12 horas, 1 minuto y 34 segundos. Los archivos contienen NELEM líneas con resultados para cada celda de la malla de celdas triangulares, como se muestra:

- **1:** Temperatura; °C o °F
- **2:** Densidad; kg/m<sup>3</sup> o lb/ft<sup>3</sup>
- **3:** Viscosidad; Pa.s o lb.s/in<sup>2</sup>
- **4:** Esfuerzo de fluencia; Pa o lb/in<sup>2</sup>

Lo siguiente es un extracto de un archivo típico:

```
24.285166 896.773201 0.127555 388.067542
33.863397 890.767650 0.084793 11.684067
24.291867 896.768999 0.127518 387.241991
48.416306 881.642976 0.047768 0.000000
24.271945 896.781491 0.127630 389.696434
30.217557 893.053592 0.098751 45.954962
43.904228 884.472049 0.056749 0.000000
46.777124 882.670743 0.050825 0.000000
24.264588 896.786103 0.127671 390.602726
24.429900 896.682453 0.126746 370.236305
```

24.363673 896.723977 0.127116 378.395478

### 16.5.3 Archivos de concentración de contaminantes (módulo PL)

Estos archivos ASCII contienen resultados del módulo de transporte de contaminantes. Estos archivos utilizan la extensión .textout y se nombran de la siguiente manera: cell\_conc\_DDDD\_HH\_MM\_SS.textout. Donde DDDD son los días, HH son las horas, MM son los minutos y SS son los segundos. Por ejemplo, cell\_conc\_0001\_12\_01\_34.textout corresponde a un archivo para el tiempo: 1 día, 12 horas, 1 minuto y 34 segundos. El formato de estos archivos es el siguiente. La primera línea indica el número de solutos utilizados en la ejecución de PL (NP\_MAX). A continuación siguen NELEM líneas con resultados para cada celda de la malla de celdas triangulares, como se muestra:

- **1:** Concentración del soluto 1; Igual que en las BC's
- **2:** Concentración del soluto 2; Igual que en las BC's
- ...: ...; ...
- **NP\_MAX:** Concentración del soluto NP\_MAX; Igual que en las BC's

El siguiente archivo es un ejemplo de un archivo típico:

```
3
0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000000
0.202378 0.000000 0.000000
0.326602 0.000000 0.000000
0.291721 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000000
...
```

En este ejemplo, el archivo tiene 3 contaminantes.

### 16.5.4 Archivos de concentración de sedimentos y fracción del lecho (módulo ST)

Estos archivos ASCII contienen concentraciones de sedimentos suspendidos y fracciones del material del lecho. Estos archivos utilizan la extensión .textout y se nombran de la siguiente manera: cell\_st\_DDDD\_HH\_MM\_SS.textout. Donde DDDD son los días, HH son las horas, MM son los minutos y SS son los segundos. Por ejemplo, cell\_st\_0001\_12\_01\_34.textout corresponde a un archivo para el tiempo: 1 día, 12 horas, 1 minuto y 34 segundos. Si el modelo de sedimentos suspendidos está activado, el formato de estos archivos es el siguiente. La primera línea indica el número de clases y fracciones de sedimentos suspendidos utilizados en la ejecución de ST por 2 más 1 ( $2 \times \text{NSSF} + 1$ ). A continuación siguen NELEM líneas con resultados para cada celda de la malla de celdas triangulares, como se muestra:

- **Cv(1):** Concentración por volumen para la fracción 1; Fracción de 1
- **Cv(2):** Concentración por volumen para la fracción 2; Fracción de 1



- ....; ...
- **Cv(NSSNFRAC):** Concentración por volumen para la fracción NSSNFRAC; Fracción de 1
- **Fr(1):** Fracción de la clase 1 en la capa activa del lecho; Fracción de 1
- **Fr(2):** Fracción de la clase 2 en la capa activa del lecho; Fracción de 1
- ....; ...
- **Fr(NSSNFRAC):** Fracción de la clase NSSNFRAC en la capa activa del lecho; Fracción de 1
- **D<sub>50</sub>:** Diámetro medio de grano en la capa activa del lecho calculado como  $\sum_j (Fr_j D_{50j})$ ; m-ft

Si el modelo de sedimentos suspendidos no está activado, las concentraciones no se escriben y el formato de estos archivos es el siguiente. La primera línea indica el número de fracciones del lecho utilizadas en la ejecución de ST por 2 más 1 (NSSNFRAC+1). A continuación siguen NELEM líneas con resultados para cada celda de la malla de celdas triangulares, como se muestra:

- **Fr(1):** Fracción de la clase 1 en la capa activa del lecho; Fracción de 1
- **Fr(2):** Fracción de la clase 2 en la capa activa del lecho; Fracción de 1
- ....; ...
- **Fr(NSSNFRAC):** Fracción de la clase NSSNFRAC en la capa activa del lecho; Fracción de 1
- **D<sub>50</sub>:** Diámetro medio de grano en la capa activa del lecho calculado como  $\sum_j (Fr_j D_{50j})$ ; m-ft

#### Nota

NOTA:

Si el transporte de sedimentos suspendidos está activado, pero las celdas están secas, las concentraciones se escriben como -9999.

Si la evolución del lecho no está activada, las fracciones del lecho y D50 se escriben como -9999.

### 16.5.5 Archivos de concentración y propiedades de lodos y relaves (módulo MT)

Estos archivos ASCII contienen concentraciones de material en flujo y fracciones del material del lecho. Estos archivos utilizan la extensión .textout y se nombran de la siguiente manera: cell\_MT\_DDDD\_HH\_MM\_SS.textout. Donde DDDD son los días, HH son las horas, MM son los minutos y SS son los segundos. Por ejemplo, cell\_MT\_0001\_12\_01\_34.textout corresponde a un archivo para el tiempo: 1 día, 12 horas, 1 minuto y 34 segundos. El formato de estos archivos es el siguiente. La primera línea indica el número de fracciones de sedimentos utilizadas en la ejecución de MT por 2 más 5 (2\*MF\_NFRAC+5). A continuación siguen NELEM líneas con resultados para cada celda de la malla de celdas triangulares, como se muestra:

- **Cv(1):** Concentración por volumen para la fracción 1; Fracción de 1
- **Cv(2):** Concentración por volumen para la fracción 2; Fracción de 1
- ....; ...

- **Cv(MF\_NFRAC):** Concentración por volumen para la fracción MF\_NFRAC; Fracción de 1
- **CvTotal:** Concentración por volumen de la mezcla; Fracción de 1
- $\rho$ : Densidad del fluido; lb/ft<sup>3</sup> o kg/m<sup>3</sup>
- $\mu$ : Viscosidad dinámica del fluido; lb.s/in<sup>2</sup> o Pa.s
- **Ys:** Esfuerzo de fluencia; lb/in<sup>2</sup> o Pa
- **H<sub>dep</sub>:** Espesor de la capa depositada; ft o m
- **Fr(1):** Fracción de la clase 1 en la capa activa del lecho; Fracción de 1
- **Fr(2):** Fracción de la clase 2 en la capa activa del lecho; Fracción de 1
- ....; ...
- **Fr(MF\_NFRAC):** Fracción de la clase MF\_NFRAC en la capa activa del lecho; Fracción de 1
- **D<sub>50</sub>:** Diámetro medio de grano en la capa activa del lecho calculado como  $\sum_j (Fr_j D_{50j})$ ; m-ft

Tenga en cuenta que, en las celdas sin datos, todos los valores son iguales a -9999 en notación científica -0.9999E+04.

## 16.5.6 Archivos de salida de petróleo y plásticos (módulos OilFlow2D Spills On Water y Plastics)

### 16.5.6.1 Archivos de partículas en la malla

Estos archivos informan las coordenadas de las partículas de petróleo o plástico y sus propiedades para cada intervalo de informe.

Estos archivos utilizan la extensión .textout y se nombran de la siguiente manera: Par\_time\_metric\_<spill>\_<time>.textout (unidades métricas), Par\_time\_eng\_<spill>\_<time>.textout (unidades inglesas) o Par\_time\_<spill>\_<time>.textout (salida sin unidades). < spill > identifica el derrame y <time> se codifica como DDDD\_HH\_MM\_SS. Por ejemplo, Par\_time\_metric\_01\_0001\_12\_01\_34.textout corresponde a un archivo para el tiempo: 1 día, 12 horas, 1 minuto y 34 segundos. El formato de estos archivos es el siguiente. La primera línea indica el número total de partículas NP que representan el petróleo o el plástico. A continuación siguen NP líneas con resultados para cada partícula, como se muestra:

- **1:** Tiempo desde la liberación; horas
- **2:** Número del derrame; 1, 2,..., NSpillSites
- **3:** Celda en la que se encuentra la partícula en este momento; -
- **4:** Coordenada X de la partícula; m o ft
- **5:** Coordenada Y de la partícula; m o ft
- **6:** Coordenada Z de la partícula; m o ft
- **7:** Volumen de la partícula; m<sup>3</sup> o ft<sup>3</sup>
- **8:** Densidad de la partícula; Gravedad específica
- **9:** Viscosidad de la partícula; cPoise (0.001 Pa.s) o (lb. s/ft<sup>2</sup>)
- **10:** Estado de la partícula.

- Activa dentro de la malla (en flujo)
- En la orilla
- Salió de la malla
- En el fondo
- Evaporada.

& -

El siguiente archivo es un ejemplo de un archivo típico :

|       |   |       |            |             |       |        |       |
|-------|---|-------|------------|-------------|-------|--------|-------|
| 1000  |   |       |            |             |       |        |       |
| 0.000 | 1 | 108   | 583104.440 | 2859074.590 | 0.000 | 20.000 | 0.825 |
| 15.0  | 1 |       |            |             |       |        |       |
| 0.000 | 1 | 91    | 583048.358 | 2859239.876 | 0.000 | 20.000 | 0.825 |
| 15.0  | 1 |       |            |             |       |        |       |
| 0.000 | 1 | 124   | 583054.107 | 2859039.172 | 0.000 | 20.000 | 0.825 |
| 15.0  | 1 |       |            |             |       |        |       |
| 0.000 | 1 | 124   | 583025.906 | 2859012.304 | 0.000 | 20.000 | 0.825 |
| 15.0  | 1 |       |            |             |       |        |       |
| 0.000 | 1 | 154   | 582984.811 | 2858954.262 | 0.000 | 20.000 | 0.825 |
| 15.0  | 1 |       |            |             |       |        |       |
| 0.400 | 1 | 2089  | 583076.449 | 2859329.372 | 0.000 | 20.000 | 0.825 |
| 15.0  | 1 |       |            |             |       |        |       |
| 0.400 | 1 | 2171  | 583077.807 | 2859406.086 | 0.000 | 20.000 | 0.825 |
| 15.0  | 1 |       |            |             |       |        |       |
| 0.800 | 1 | 145   | 583011.099 | 2858829.013 | 0.000 | 20.000 | 0.825 |
| 15.0  | 1 |       |            |             |       |        |       |
| 0.800 | 1 | 66    | 582971.325 | 2858846.586 | 0.000 | 20.000 | 0.825 |
| 15.0  | 1 |       |            |             |       |        |       |
| 1.100 | 1 | 20438 | 582205.981 | 2857441.104 | 0.000 | 20.000 | 0.825 |
| 15.0  | 1 |       |            |             |       |        |       |
| 1.100 | 1 | 20453 | 582184.220 | 2857537.876 | 0.000 | 20.000 | 0.825 |
| 15.0  | 1 |       |            |             |       |        |       |
| 1.300 | 1 | 20353 | 582250.333 | 2857832.535 | 0.000 | 20.000 | 0.825 |
| 15.0  | 1 |       |            |             |       |        |       |
| 1.300 | 1 | 20733 | 582673.118 | 2858336.860 | 0.000 | 20.000 | 0.825 |
| 15.0  | 1 |       |            |             |       |        |       |
| 1.500 | 1 | 117   | 583186.693 | 2858579.932 | 0.000 | 20.000 | 0.825 |
| 15.0  | 1 |       |            |             |       |        |       |
| 1.500 | 1 | 73    | 583148.156 | 2858460.752 | 0.000 | 20.000 | 0.825 |
| 15.0  | 1 |       |            |             |       |        |       |

Tenga en cuenta que, en las celdas sin datos, las coordenadas X e Y de las partículas son iguales a -9999.

### 16.5.6.2 Archivos de hidrodinámica del agua y volúmenes de petróleo-plástico en la malla

Estos archivos informan los volúmenes de petróleo o plástico para cada punto de derrame en todas las celdas de la malla para cada intervalo de informe. Estos archivos utilizan la extensión .textout y se nombran de la siguiente manera: Cell\_oil\_time\_DDDD\_HH\_MM\_SS.textout. Donde DDDD son los días, HH son las horas, MM son los minutos y SS son los segundos. Por ejemplo, Cell\_oil\_time\_0000\_06\_01\_54.textout corresponde a un archivo para el tiempo: día 0, 6 horas, 1 minuto y 54 segundos. El formato de estos archivos es el siguiente. La primera línea indica el número total de celdas NELEM y el número de puntos de derrame NSPILLS. A continuación siguen NELEM líneas con resultados para cada celda, como se muestra en la tabla:

- **Componente de velocidad del agua en la dirección x U:** ft/s; m/s
- **2:** Componente de velocidad del agua en la dirección y V; ft/s; m/s
- **3:** Magnitud de la velocidad del agua  $|\vec{U}| = \sqrt{U^2 + V^2}$ ; ft/s; m/s
- **4:** Elevación de la superficie del agua; ft; m
- **5:** Profundidad del agua WaterDepth H; ft; m
- **6:** Elevación del lecho; ft; m
- **7:** Volumen de petróleo por unidad de área en la celda para el derrame 1; ft; m
- **8:** Volumen de petróleo por unidad de área en la celda para el derrame 2; ft; m
- **NSPILLS + 6:** Volumen de petróleo por unidad de área en la celda para el derrame NSPILLS; ft; m

El siguiente archivo es un ejemplo de un archivo típico:

```
8260 2
-0.414E+00 0.343E+00 0.538E+00 0.353E+01 0.846E+01 -0.493E+01 0.375E-01 0.000E+00
-0.344E+00 0.303E+00 0.458E+00 0.353E+01 0.343E+01 0.984E-01 0.250E-01 0.000E+00
-0.344E+00 0.288E+00 0.449E+00 0.353E+01 0.364E+01 -0.115E+00 0.250E-01 0.000E+00
-0.392E+00 0.331E+00 0.513E+00 0.353E+01 0.813E+01 -0.460E+01 0.375E-01 0.000E+00
-0.321E+00 0.288E+00 0.431E+00 0.353E+01 0.666E+01 -0.313E+01 0.250E-01 0.000E+00
-0.377E+00 0.351E+00 0.515E+00 0.353E+01 0.550E+01 -0.197E+01 0.625E-01 0.000E+00
-0.378E+00 0.276E+00 0.467E+00 0.353E+01 0.603E+01 -0.250E+01 0.375E-01 0.000E+00
-0.337E+00 0.302E+00 0.453E+00 0.353E+01 0.826E+01 -0.473E+01 0.625E-01 0.000E+00
-0.360E+00 0.298E+00 0.468E+00 0.353E+01 0.813E+01 -0.460E+01 0.250E-01 0.000E+00
-0.441E+00 0.328E+00 0.550E+00 0.353E+01 0.813E+01 -0.460E+01 0.000E+00 0.000E+00
-0.343E+00 0.330E+00 0.476E+00 0.353E+01 0.653E+01 -0.300E+01 0.375E-01 0.000E+00
-0.573E-01 0.788E-02 0.578E-01 0.353E+01 0.470E+00 -0.306E+01 0.000E+00 0.000E+00
-0.247E+00 0.199E+00 0.317E+00 0.353E+01 0.200E+01 0.153E+01 0.250E-01 0.000E+00
-0.267E+00 0.269E+00 0.379E+00 0.353E+01 0.438E+01 -0.850E+00 0.500E-01 0.000E+00
...
```

### 16.5.6.3 Archivo de volumen máximo de petróleo-plásticos por unidad de área

Estos archivos ASCII informan del volumen máximo de petróleo o plásticos por unidad de área y permiten una transferencia fluida al software QGIS Geographic Information System. Este archivo

utiliza la extensión .textout y se denomina <ProjectName>\_oilw\_max.textout. El formato de estos archivos es el siguiente. La primera línea contiene el número de celdas (NELEM) y el número de derrames (NSPILLS). A continuación, siguen NELEM líneas, donde cada columna indica el volumen máximo de petróleo por unidad de área para cada derrame, como se muestra en la tabla. Las celdas secas se indican con el número -9999.000.

- **1:** Volumen máximo de petróleo por unidad de área para el derrame 1; ft; m
- **2:** Volumen máximo de petróleo por unidad de área para el derrame 2; ft; m
- ....: ...; ...; ...
- **NSPILLS:** Volumen máximo de petróleo por unidad de área para el derrame NSPILLS; ft; m

El siguiente archivo es un ejemplo de un archivo típico:

```

          7086          2
2.5281593E-05  4.2135565E-04
-9999.000  -9999.000
-9999.000  -9999.000
2.7736165E-05  -9999.000
8.1205413E-05  6.7670504E-04
2.3327330E-04  1.1663549E-03
1.1482510E-04  4.7843312E-04
2.0842110E-04  2.9774143E-03
...

```

#### 16.5.6.4 Balance global de masa del petróleo .OUTOILVOL

Este archivo ASCII informa del balance global de masa del petróleo durante toda la simulación. El archivo se denomina <ProjectName>.OUTOILVOL e incluye los siguientes valores para cada instante:

- IN MESH: Volumen de petróleo que se está desplazando.
- OUT MESH: Volumen de petróleo que ha salido por los límites abiertos del modelo.
- ON SHORE: Volumen de petróleo en los límites cerrados de la malla.
- ON BOTTOM: Volumen de petróleo en el fondo.
- TOTAL: Volumen total de petróleo, que debe ser igual a la suma de IN MESH, OUT MESH, ON SHORE y ON BOTTOM.

Los volúmenes se expresan en barriles (BBL) y m<sup>3</sup>.

El siguiente archivo es un ejemplo de un archivo típico:

```

=====
=====
OilFlow2D  - Release  CPU   8.04
Build SEP 12 2022
=====
TWO-DIMENSIONAL FINITE-VOLUME OIL FLOW MODEL
(R) TRADEMARK 2009-2022 Hydronia , LLC.

```

ALL RIGHTS RESERVED

RUN DATE: 22/SEP/2022

```
=====
```

| TIME<br>(h) | IN MESH<br>(m3) | OUT MESH<br>(m3) | ON SHORE<br>(m3) | ON BOTTOM<br>(m3) | TOTAL<br>(m3) |
|-------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|---------------|
| 0.010       | 1020.044        | 0.000            | 0.000            | 0.000             | 1020.044      |
| 0.020       | 1040.040        | 0.000            | 0.000            | 0.000             | 1040.040      |
| 0.030       | 1060.035        | 0.000            | 0.000            | 0.000             | 1060.035      |
| 0.040       | 1080.030        | 0.000            | 0.000            | 0.000             | 1080.030      |
| 0.050       | 1011.443        | 0.000            | 0.000            | 88.600            | 1100.043      |
| 0.060       | 797.030         | 0.000            | 0.000            | 323.001           | 1120.031      |
| 0.070       | 598.218         | 0.000            | 0.000            | 541.815           | 1140.033      |
| ...         |                 |                  |                  |                   |               |

### 16.5.7 Archivos de valores máximos

Estos archivos ASCII informan de los valores máximos del módulo de velocidad, la profundidad y las elevaciones de la superficie del agua, entre otros, y permiten una transferencia fluida al software QGIS Geographic Information System. Estos archivos utilizan la extensión .textout y se denominan <ProjectName>\_cells\_max.textout. El formato de estos archivos es el siguiente. La primera línea contiene el número de celdas (NELEM) y el número de parámetros de celda, que es 6 de forma predeterminada u 11 si la ejecución se realizó con el Sediment Transport Module. A continuación, siguen NELEM líneas con el módulo de velocidad, la profundidad y la elevación de la superficie del agua para cada celda, como se muestra:

- **1:** Magnitud máxima de la velocidad  $\sqrt{U^2 + V^2}$ ; ft/s; m/s
- **2:** Profundidad máxima; ft; m
- **3:** Elevación máxima de la superficie del agua; ft; m
- **4:** Profundidad máxima x velocidad; ft<sup>2</sup>/s; m<sup>2</sup>/s
- **5:** Elevación máxima del lecho\*; ft; m
- **6:** Elevación mínima del lecho\*; ft; m
- **7:** Profundidad máxima de erosión\*; ft; m
- **8:** Profundidad máxima de deposición\*; ft; m
- **9:** Tensión cortante máxima del lecho; lb/ft<sup>2</sup>; Pa
- **10:** Fuerza de impacto máxima por unidad de ancho; lb/ft; N/m
- **11:** Tiempos DT límite; -; -

### 16.5.8 Archivo de salida de tiempo hasta la profundidad en las celdas

El archivo informa del instante en que se alcanzan determinadas profundidades durante la simulación y permite una transferencia fluida al software QGIS Geographic Information System. Los archivos de tiempo hasta la profundidad tienen el siguiente nombre: <ProjectName>\_time2depths\_cells.textout.

El formato de estos archivos es el siguiente. La primera línea indica el número de celdas (NELEM) y el número de parámetros de celda (5 de forma predeterminada).

Para el archivo en unidades métricas, siguen NELEM líneas con el tiempo hasta 0.30 m, el tiempo hasta 0.5 m, el tiempo hasta 1 m, el tiempo hasta la profundidad máxima y el tiempo total de inundación para cada celda, como se muestra en la Tabla. Cuando la celda permanece seca o la profundidad es inferior a 0.30 m, el valor informado es -1. El tiempo siempre se expresa en horas. Para el archivo en unidades inglesas, siguen NELEM líneas con el tiempo hasta 1 ft, el tiempo hasta 2 ft, el tiempo hasta 3 ft, el tiempo hasta la profundidad máxima y el tiempo total de inundación para cada celda, como se muestra en la Tabla. Cuando la celda permanece seca o la profundidad es inferior a 1ft, el valor informado es -1.

El tiempo de inundación se calcula como el tiempo total durante la simulación en que la profundidad de la celda es mayor que 0. Si la celda se humedece, luego se seca y vuelve a humedecerse, el período seco intermedio no se considera.

- **Tiempo hasta 0.30 m (métrico) o 1 ft. (inglés)\*:** h.
- **2:** Tiempo hasta 0.50 m (métrico) o 2 ft. (inglés)\*; h.
- **3:** Tiempo hasta 1 m (métrico) o 3 ft. (inglés)\*; h.
- **4:** Tiempo hasta la profundidad máxima\*; h.
- **5:** Tiempo de inundación; h.
- **6:** Tiempo de llegada; h.

### 16.5.9 Archivo de salida de valores de intensidad del peligro en las celdas

Estos archivos ASCII informan de los valores de intensidad del peligro para diversas clasificaciones de peligro utilizadas en distintos países. Incluyen la clasificación de la United States Bureau of Reclamation, los métodos suizos y los criterios utilizados en Austria, Australia y el Reino Unido. El archivo puede utilizarse para crear mapas de peligro en el software QGIS Geographic Information System. Estos archivos utilizan la extensión .textout y se denominan <ProjectName>\_cells\_hazard.textout. El formato de estos archivos es el siguiente. La primera línea indica el número de celdas (NELEM) y el número de parámetros de celda (11). A continuación, siguen NELEM líneas con las intensidades del peligro para cada celda, como se muestra:

- **USBR Homes:** 0, 1, 2, y 3
- **2:** USBR Passenger Vehicles; 0, 1, 2, y 3
- **3:** USBR Mobile Homes; 0, 1, 2, y 3
- **4:** USBR Adults; 0, 1, 2, y 3
- **5:** USBR Children; 0, 1, 2, y 3
- **6:** Swiss Method for Water Flooding; 0, 1, 2, y 3
- **7:** Swiss Method for Debris Flow; 0, 1, 2, y 3
- **8:** Austrian Method for River Flooding; 0, 1, y 2
- **9:** Austrian Method for Torrents Tr=100 yrs.; 0, 1, y 2
- **10:** Austrian Method for Torrents Tr=10 yrs.; 0, 1, y 2
- **11:** UK Method; 0, 1, 2, y 3
- **12:** Custom Water Flood; 0, 1, 2, y 3

- **13:** Custom Debris Flow; 0, 1, 2, y 3
- **14:** Australia Flood Hazard; 0, 1, 2, 3, y 4
- **15:** ECWHM Equivalent Clear Water Hazard Map; 0 – 8

#### 16.5.9.1 Niveles de peligro USBR

El peligro USBR incluye cinco atributos correspondientes al nivel de peligro para viviendas, viviendas móviles, vehículos, adultos y niños, basados en la clasificación de peligros de inundación de la United States Bureau of Reclamation (USBR, 1988). Los atributos pueden tomar los valores 1, 2 o 3, según el nivel de peligro resumido en la siguiente tabla:

& Zona de bajo peligro - **2:** Zona de juicio - **3:** Zona de alto peligro

Para más información sobre la clasificación de peligro USBR, consulte USBR (1988).

## 16.6 Archivos de salida VTK para Paraview

El modelo RiverFlow2D generará archivos que informan de las velocidades, profundidades, superficies del agua y elevaciones del lecho, cambios en la elevación del lecho, condición húmeda-seca, número de Froude y caudal de transporte de sedimentos para cada intervalo de tiempo de salida. Estos archivos pueden utilizarse con software de terceros, incluido Paraview, para generar gráficos de alta calidad de los resultados de RiverFlow2D. ParaView (<https://www.paraview.org>) es una aplicación de código abierto y multiplataforma para el análisis y la visualización de datos. Los usuarios de ParaView pueden crear rápidamente visualizaciones para analizar sus datos mediante técnicas cualitativas y cuantitativas. La exploración de datos puede realizarse interactivamente en 3D o mediante las capacidades de procesamiento por lotes de ParaView.



# 17

## Herramientas de RiverFlow2D

### 17.1 Ejecución automatizada por lotes de simulaciones del modelo

Puede ejecutar varias simulaciones de RiverFlow2D mediante scripts por lotes. Al controlar ejecuciones del modelo mediante scripts por lotes, se recomienda activar la opción de salida *Automatic Close of Model Windows* en la interfaz de DIP para garantizar una ejecución ininterrumpida.

Hay dos métodos disponibles para ejecutar varias simulaciones mediante scripts por lotes:

- Usar un script de MS-DOS en un archivo.
- Usar un script escrito en el lenguaje de programación Python.

#### Nota

Nota: los archivos de script descritos en este capítulo se pueden descargar mediante el siguiente enlace:

- [\\*\\*BatchRun-RF2D-OF2D.zip](#)

#### 17.1.1 Uso de un script de MS-DOS para ejecutar varias simulaciones por lotes

C:

```
cd "C:\Program Files\Hydronia\RiverFlow2D"
```

```
RiverFlow2Dm5 "D:\RiverFlow2D\Projects\ProjectA\Scenario1\Run1" > "D:\RiverFlow2D\
```

RiverFlow2Dm5 "D:\RiverFlow2D\Projects\ProjectA\Scenario2\Run2" > "D:\RiverFlow2D\Proj

### Advertencia

El nombre del archivo de registro redirigido no debe coincidir con <projectname>.log. El motor RiverFlow2D escribe su propio archivo de registro con ese nombre exacto y, si se redirige al mismo archivo, este queda bloqueado durante la ejecución del comando e impide que se inicie el visor RiverFlow2D Plus. Use un sufijo diferente, como \_batch.log (tal como se muestra arriba), o no incluya la redirección.

Las líneas de comentario en los archivos por lotes de MS-DOS deben comenzar con REM o ::. El carácter % inicia la expansión de variables; por eso, cualquier línea que comience con % se analizará y ejecutará como un comando en lugar de ignorarse como comentario.

## 17.1.2 Uso de un script de Python dentro de QGIS para ejecutar varias simulaciones por lotes

Este script se ejecuta dentro de la Consola de Python de QGIS, pero tiene la desventaja de bloquear QGIS mientras se ejecutan los modelos.

```
# -*- coding: utf-8 -*-
from subprocess import call

rf2d_path = r"C:\Program Files\Hydronia\RiverFlow2D\RiverFlow2dm5 "

dat_paths = [
    r"C:\Users\hydronia\Documents\RiverFlow2D_QGIS\ExampleProjects\MUDTutorial\MUD",
    r"C:\Users\hydronia\Documents\RiverFlow2D_QGIS\ExampleProjects\MUDTutorial2\MUD"
]

for path in dat_paths:
    prjPath = rf2d_path + path
    call(prjPath)
```

## 17.1.3 Uso de un script de Python mediante un archivo por lotes para ejecutar varias simulaciones

Este script también se ejecuta desde QGIS, pero crea un archivo .BAT que no bloquea QGIS mientras se ejecutan los modelos.

```
# -*- coding: utf-8 -*-
import tempfile
import subprocess

tmpdir = tempfile.mkdtemp(prefix='rf2qgis ')
temp = os.path.join(tmpdir, "temp.bat")
```

```
dat_paths = [  
    r"C:\Users\hydronia\Documents\RiverFlow2D_QGIS\ExampleProjects\MUDTutoria  
    r"C:\Users\hydronia\Documents\RiverFlow2D_QGIS\ExampleProjects\MUDTutoria  
    ]  
  
with open(temp, "w") as f:  
    f.write("C:\\n")  
    f.write('cd "C:\\Program Files\\Hydronia\\RiverFlow2D"\\n')  
    for path in dat_paths:  
        f.write('RiverFlow2dm5 "' + path + '" > "' + QFileInfo(path).absolutePath +  
            '/Run.log" \\n')  
  
subprocess.Popen(temp, shell=True)
```