

HydroBID Flood 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

Sitio web: www.hydronia.com

Contenido

Lista de Figuras	xi
1 Introducción	1
1.1 Resumen de características y capacidades de HydroBID Flood	2
1.1.1 Generador de mallas	2
1.1.2 Motor numérico	2
1.1.3 Componentes hidráulicos	3
1.1.4 Formatos de datos de entrada	3
1.1.5 Condiciones iniciales	3
1.1.6 Condiciones de contorno	3
1.1.7 Opciones de salida	4
1.1.8 Salida de resultados para valores máximos	4
1.1.9 Salida para evaluaciones de peligro	4
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 lodos y relaves (MT)	5
1.1.13 Módulo de transporte de contaminantes (PL)	5
1.1.14 Módulo de calidad del agua (WQ)	6
2 Instalación y activación de HydroBID Flood	7
2.1 Requisitos de hardware	7
2.2 Instalación del software	7
2.3 Activación del software	7
2.3.1 Activación independiente	8
2.3.2 Instalación del servidor de red	9
2.3.3 Instalación del cliente de red	11
2.4 Activación de los complementos de Hydronia en QGIS	12
2.4.1 Activación del complemento HydroBID Flood (pre-v10 o independiente)	13
2.4.2 Activación del complemento OilFlow2D (pre-v10 o independiente)	14
2.4.3 Activación de macros en QGIS	14
2.5 Solución de problemas	15
2.5.1 Cómo encontrar la clave de licencia	15
2.5.2 Cómo saber quién utiliza el software en una instalación de red	16
2.5.3 ERROR 641: "You have reached the limit on the maximum number of simultaneous users of this program."	16

2.5.4	ERROR 659: “This program is configured for network installation only. It cannot be installed as a standalone system.”	17
2.5.5	ERROR 660: “This program is configured for standalone installation only. It cannot be installed as a network system”	17
2.5.6	ERROR 739: “This program has been installed or copied too many times.”	17
2.6	Documentación de HydroBID Flood	17
2.7	Soporte técnico de HydroBID Flood	18
2.8	Tutoriales de HydroBID Flood	18
3	Descripción general de HydroBID Flood	19
4	Generación de mallas en HydroBID Flood	23
4.1	Control del tamaño de celda mediante el contorno del dominio	24
4.2	Control del tamaño de celda mediante polilíneas en la capa MeshDensityLine	25
4.3	Control del tamaño de celda mediante polígonos en la capa MeshDensityPolygon	25
4.4	Control del tamaño de celda mediante polilíneas en la capa MeshBreakLine	26
4.5	Condiciones de contorno	27
4.6	Datos espaciales de la malla	28
4.6.1	n de Manning	28
4.7	Funciones de la barra de herramientas de HydroBID Flood	29
4.7.1	Nuevo proyecto de HydroBID Flood	30
4.7.2	Generar TriMesh	31
4.7.3	Exportar archivos para HydroBID Flood	31
4.7.4	Mapas	31
4.7.5	Animaciones	31
4.7.6	Secciones transversales	31
4.7.7	Herramientas	31
5	Modelo hidrodinámico	35
5.1	Supuestos del modelo hidrodinámico	35
5.2	Ecuaciones de flujo con variaciones de temperatura prescritas	36
5.3	Solución numérica de volúmenes finitos	36
5.3.1	Optimizaciones numéricas	40
5.3.2	Región de estabilidad	41
5.4	Condiciones de contorno abiertas	41
5.4.1	Tipos de condiciones de contorno de variable única (BCTYPE 1 y 6)	43
5.4.2	Tabla de relación nivel-caudal (BCTYPE 9)	44
5.4.3	Contornos abiertos “libres” (BCTYPE 10 y 11)	44
5.4.4	Condición de contorno de flujo uniforme (BCTYPE 12)	45
5.4.5	Implementación numérica de los contornos abiertos	45
5.4.6	Contornos cerrados	51
5.5	Modelación de celdas secas/mojadas	52
5.5.1	Definiciones de celdas según condiciones secas y mojadas	52
5.6	Conservación del volumen	53
5.7	Coeficientes de rugosidad n de Manning	54

6	Módulo de transporte de sedimentos: ST	55
6.1	Ecuaciones del modelo	55
6.2	Leyes de transporte de sedimentos	56
6.2.1	Transporte de carga de fondo	57
6.2.2	Transporte de carga suspendida	58
6.2.3	Fórmulas de capacidad de carga suspendida	60
6.2.4	Composición de la capa activa	61
6.3	Condiciones de contorno para el modelo de sedimentos suspendidos	62
6.4	Condiciones de contorno para el modelo de carga de fondo	62
6.4.1	Proporcionar únicamente la entrada de caudal de agua	62
6.4.2	Entrada de caudal de agua y sedimentos	63
6.5	Condiciones de contorno para el modelo combinado de carga de fondo y carga suspendida	63
6.6	Solución numérica de volúmenes finitos del transporte de sedimentos	64
6.7	Introducción de datos del modelo de transporte de sedimentos en el DIP	65
6.8	Supuestos y consideraciones del modelo de transporte de sedimentos	65
7	Modelo de flujo de lodos y relaves: MT	67
7.1	Modelo de flujo de lodo <i>Constant-Properties Fixed-Bed</i> (CP-FB)	67
7.2	Modelo de flujo bifásico <i>Variable-Properties Movable-Bed</i> (VP-MB)	68
7.2.1	Modelo conservativo del material del lecho para depósitos multigranulares	71
7.2.2	Solución numérica por volúmenes finitos para flujos compresibles	72
7.3	Formulación reológica y resistencia basal no newtoniana	73
7.3.1	Viscosidad y esfuerzo de fluencia variables en el modelo de flujo bifásico VP-MB	78
7.4	Condiciones de contorno para el modelo de flujo bifásico <i>Variable-Properties Movable-Bed</i> (VP-MB)	79
7.5	Introducción de datos para el modelo de flujo de lodos y relaves	79
8	Modelo de drenaje urbano: UD	82
8.1	Modelo de flujo en tuberías 1D	82
8.2	Intercambio de agua entre los modelos HydroBID Flood y SWMM	83
8.3	Herramienta Rooftop Tool	84
9	Modelo de transporte de contaminantes: PL	86
9.1	Ecuaciones del modelo	86
9.2	Solución numérica del transporte de contaminantes por volúmenes finitos	87
9.3	Introducción de datos para el modelo de transporte de contaminantes	89
9.4	Supuestos del modelo de transporte de contaminantes	89
10	Modelo de calidad del agua: módulo WQ	90
10.1	Ecuaciones de las variables de estado hidrodinámicas y de calidad del agua	92
11	Socavación en puentes	94
11.1	Método HEC-18 para la socavación de pilas	94
11.2	Socavación de pilas en material de lecho grueso	94
11.3	Socavación de pilas en materiales cohesivos	95

11.4	Ancho superior e inferior de los hoyos de socavación de pilas	95
11.5	Socavación de estribos	95
11.5.1	Factor de amplificación de la socavación para estribos spill-through y condiciones de lecho vivo	96
11.5.2	Factor de amplificación de la socavación para estribos con muros laterales y condiciones de lecho vivo	96
11.5.3	Factor de amplificación de la socavación para estribos spill-through y condiciones de agua clara	97
11.5.4	Factor de amplificación de la socavación para estribos con muros laterales y condiciones de agua clara	97
12	Paralelización del código	98
12.1	RiverFlow2D CPU	98
12.2	RiverFlow2D GPU	99
13	Componentes hidráulicos e hidrológicos	101
13.1	Componente de puentes	101
13.1.1	Archivo de datos de geometría del puente	103
13.1.2	Cálculos de puentes	105
13.2	Pilas de puentes	109
13.2.1	Cálculo de pilas de puentes	110
13.3	Componente de alcantarillas	112
13.3.1	Cálculo de alcantarillas mediante una tabla de aforo (CulvertType = 0)	113
13.3.2	Cálculo de alcantarillas mediante las características de la alcantarilla (CulvertType = 1,2)	113
13.3.3	Supuestos de los cálculos de alcantarillas	119
13.3.4	Herramienta de intercambio de volumen entre varias celdas para alcantarillas en QGIS	120
13.4	Componente de compuertas	122
13.4.1	Cálculos de compuertas	123
13.5	Lluvia y evaporación	124
13.6	Infiltración	125
13.6.1	Modelo de infiltración de Horton	125
13.6.2	Modelo de infiltración de Green-Ampt	127
13.6.3	Modelo SCS-CN	128
13.7	Componente de viento	130
13.8	Tablas de aforo internas	131
13.8.1	Cálculos de tablas de aforo internas	132
13.8.2	Supuestos de los cálculos de tablas de aforo internas	132
13.9	Vertederos	133
13.9.1	Cálculos de vertederos	134
13.9.2	Supuestos de cálculos de vertederos	135
13.10	Modelado de rotura de presa	135
13.10.1	Rotura de presa prescrita	135
13.10.2	Rotura de la presa por erosión de las tuberías	136

13.11	Descarga de flujo a través de la sección transversal de la tubería.	136
13.12	Erosión de tuberías	137
13.13	Desbordamiento de la erosión	139
13.14	Flujo de presa como condición de frontera interna	139
14	Programa de entrada de datos de Hydrionia (DIP)	142
14.1	Panel Control Data (archivo .DAT)	143
14.2	Panel de transporte de sedimentos (archivos .SEDS y .SEDB)	147
14.3	Panel Drenaje Urbano EPA-SWMM (Archivo .LSWMM)	150
14.4	Panel de datos de flujo de lodo y relaves (archivo .MUD)	151
14.4.1	Archivos de datos opcionales de viscosidad o límite elástico	154
14.5	Panel de Transporte de Contaminantes (.SOLUTES)	154
14.6	Ficha Graphic Output Options (archivo .PLT)	155
14.7	Panel de salida de perfil (archivo .PROFILES)	157
14.8	Panel de salida de sección transversal (archivo .XSECS)	158
14.9	Panel de alcantarillas (archivo .CULVERTS)	159
14.10	Panel de Tablas de Calificación Interna (Archivo .IRT)	161
14.11	Panel de vertederos (archivo .WEIRS)	162
14.12	Panel de fuentes/sumideros (archivo .SOURCES)	162
14.13	Panel de socavación del puente (archivo .SCOUR)	163
14.14	Panel de pilares de puente (archivo .PIERS)	165
14.15	Panel de Puntos de Observación (Archivo .OBS)	166
14.16	Panel de herramientas	167
14.16.1	Procesar datos de lluvia y evaporación desde la herramienta de archivos de cuadrícula ASCII	168
14.16.2	Herramienta de extracción de datos HEC-RAS	169
15	Referencia de archivos de datos de entrada	171
15.1	Datos de control de ejecución	174
15.1.1	Archivo de datos de control de ejecución: .DAT	174
15.2	Datos de malla	181
15.2.1	Archivo de datos de malla: .FED	181
15.2.2	Abrir archivos de datos de condiciones de contorno: .IFL y .OBCP	183
15.2.3	Archivo de datos de límites de malla: .TBA	187
15.3	Puentes	188
15.3.1	Archivo de datos de puentes: .BRIDGES	189
15.3.2	Archivo de datos de geometría de sección transversal de puente	190
15.4	Archivo de datos de alcantarillas: .CULVERTS	192
15.4.1	Ejemplo de un archivo .CULVERTS	192
15.4.2	Archivos de datos de la tabla de clasificación de profundidad-descarga de alcantarilla para CulvertType=0	193
15.4.3	Archivos de datos de características de alcantarilla para CulvertType = 1, 2	194
15.4.4	Ejemplo del archivo de datos de características de alcantarilla	194
15.4.5	Comentarios para los archivos .CULVERTS y características de alcantarillas	200
15.5	Archivo de datos de rotura de presa: .DAMBREACH	200

15.5.1	Ejemplo de un archivo .DAMBREACH	201
15.5.2	Archivo de datos de evolución del tiempo de incumplimiento para el modo de falla prescrito	203
15.5.3	Comentarios para el archivo .DAMBREACH	203
15.6	Archivos de datos GATES: .GATES	203
15.6.1	Ejemplo de un archivo .GATES	204
15.6.2	Archivo de serie temporal de apertura de puerta	205
15.6.3	Ejemplo de un archivo de datos de apertura de Gates	205
15.7	Archivo de datos de la tabla de calificación interna: .IRT	205
15.7.1	Ejemplo de un archivo .IRT	206
15.7.2	Comentarios para el archivo .IRT	206
15.8	Archivo de datos de lluvia y evaporación: .LRAIN	207
15.8.1	Comentarios para el archivo .LRAIN	207
15.8.2	Ejemplo de un archivo de datos de hietograma y evaporación	208
15.8.3	Comentarios para el archivo de datos de hietograma y evaporación.	208
15.9	Archivo de datos de infiltración: .LINF	208
15.9.1	Ejemplo de un archivo .LINF	209
15.9.2	Comentarios para el archivo .LINF	209
15.9.3	Ejemplo de un archivo de datos de parámetros de infiltración	210
15.10	Variable n de Manning con datos de profundidad Archivo: .MANNN	211
15.10.1	Comentarios para el archivo .MANNN	212
15.10.2	Ejemplo de una variable de Manning con un archivo de datos de profundidad	212
15.10.3	Comentarios para la variable n de Manning con archivo de datos de profundidad	212
15.10.4	Archivo de fuerzas de arrastre de pilares de puente: .PIERS	213
15.11	Archivo de datos de pilar y socavación del puente: .SCOUR	215
15.11.1	Ejemplo de un archivo .SCOUR	216
15.11.2	Comentarios para el archivo .SCOUR	218
15.12	Archivo de datos de fuentes y sumideros: .SOURCES	218
15.12.1	Ejemplo de un archivo .SOURCES	218
15.12.2	Comentarios para el archivo .SOURCES	219
15.13	Archivo de múltiples fuentes	219
15.13.1	Ejemplo de un archivo fuente múltiple	219
15.14	Archivos de datos de Weirs: .WEIRS y .WEIRP	220
15.14.1	Ejemplo de un archivo .WEIRS	221
15.14.2	Ejemplo de un archivo .WEIRP	222
15.14.3	Comentarios para el archivo .WEIRS	223
15.15	Archivo de datos de viento: .WIND	223
15.15.1	Ejemplo de un archivo	224
15.15.2	Comentarios para el archivo	224
15.15.3	Archivo de datos de velocidad del viento	224
15.15.4	Ejemplo de un archivo de datos y velocidad del viento	225
15.16	Archivo de datos de barreras de contención de petróleo: .BOOMS	225
15.16.1	Ejemplo de un archivo .BOOMS	225
15.17	Archivo de datos de flujo de lodo y relaves: .MUD	227

15.17.1	Ejemplo de un archivo .MUD	228
15.17.2	Archivos de datos opcionales de viscosidad o límite elástico	231
15.17.3	Archivo de Datos de Concentración Inicial del Módulo de Lodos y Relaves: .CINITIAL	232
15.17.4	Archivo de datos de fracciones iniciales del lecho: .FBINITIAL	234
15.17.5	Archivo de datos de condiciones hidráulicas iniciales del módulo de lodo y relaves: .INITIALSTATE	234
15.18	Archivo de modelo de petróleo sobre tierra: .OILP	235
15.18.1	Ejemplo de un archivo .OILP	236
15.18.2	Archivo de tabla de temperatura-viscosidad-densidad	241
15.18.3	Archivo de series temporales de temperatura frente a densidad	241
15.18.4	Archivo de series temporales de temperatura frente a viscosidad	242
15.18.5	Archivo de series temporales de temperatura frente a tensión de rendimiento	242
15.18.6	Archivo de series temporales de parámetros ambientales	243
15.18.7	Archivo de datos de profundidad de retención de aceite: .DETENINITIAL	243
15.19	Archivo de óleo sobre agua: .OILW	244
15.19.1	Ejemplo de un archivo .OILW	249
15.19.2	Archivo de entrada de volumen acumulado	251
15.19.3	Ejemplo de un archivo de volumen acumulado	251
15.19.4	Archivo de liberación de derrames	251
15.19.5	Ejemplo de archivo de liberación de derrames	252
15.20	Archivo de datos del módulo de transporte de contaminantes: .SOLUTES	252
15.20.1	Ejemplo de un archivo .SOLUTES	253
15.20.2	Archivo de datos de concentración inicial del módulo de transporte de con- taminantes: .CINITIAL	254
15.21	Archivos de datos de transporte de sedimentos: .SEDS y .SEDB	254
15.21.1	Archivo .SEDS para datos de sedimentos suspendidos	254
15.21.2	Archivo .SEDB para datos de transporte de carga de fondo	257
15.21.3	Archivo de datos de fracciones iniciales del lecho del módulo de transporte de sedimentos: .FBINITIAL	259
15.22	Archivo de datos del módulo de drenaje urbano: .LSWMM	259
15.22.1	Ejemplo de un archivo .LSWMM	260
15.22.2	Archivos de datos de descarga en función de la profundidad	261
15.23	Datos de control de salida	262
15.23.1	Archivo de datos de puntos de observación: .OBS	262
15.23.2	Archivo de datos de control de salida gráfica: .PLT	263
15.23.3	Datos para la salida del resultado del perfil: .PROFILES	266
15.23.4	Datos de sección transversal para el archivo de salida de resultados: .XSECS	266
15.24	Datos de elevación	268
15.24.1	Datos X Y Z con encabezado	268
15.25	Archivos de datos de condiciones de contorno	269
15.25.1	Archivos de condición de límite de una variable	269
15.25.2	Archivos de condiciones de límites de dos variables	269
15.25.3	Archivos de condiciones de límites de múltiples variables	270

15.25.4	Archivos de datos de descarga por etapas	271
15.25.5	Archivos de datos de descarga en profundidad de alcantarillas	272
16	Referencia del archivo de salida	273
16.1	Descripción general del archivo de salida	273
16.1.1	Archivos esenciales necesarios para generar mapas, gráficos y animaciones	276
16.2	Archivos de salida generales	277
16.2.1	Archivo de tiempos de salida .outfiles	277
16.2.2	Tiempos de salida para el archivo .outfilesoilw del modelo Oil Spill on Water	278
16.2.3	Resumen de opciones de ejecución, archivos .outi y .oute	278
16.2.4	Datos y métricas de la malla, archivos .meshouti y .meshoute	280
16.2.5	Archivo de resumen de ejecución .rout	283
16.2.6	Archivos tabulares de valores máximos .maxi y .maxe	283
16.2.7	Salida de puntos de observación	285
16.2.8	Archivo 2binitialized.hotstart de inicio en caliente (versión 10, 2026)	286
16.2.9	Establecimiento de condiciones iniciales más complejas mediante el archivo .INITIALSTATE [disponible solo para el módulo MT]	287
16.2.10	Archivo de salida de balance de masa	288
16.3	Archivos de salida de componentes	290
16.3.1	Archivo de salida de booms .OUTBOOMS	290
16.3.2	Archivos de salida de alcantarillas CULVERT_culvertID.out	291
16.3.3	Archivos de tablas de clasificación internas IRT_irtID.out	291
16.3.4	Archivos de salida de vertederos .weiri y .weire	291
16.4	Archivos de salida de secciones transversales y perfiles	292
16.4.1	Archivos generales de secciones transversales .xseci y .xsece	292
16.4.2	Archivos de hidrogramas de secciones transversales .xsech y .xsecsed	293
16.4.3	Archivos de perfiles .prfi y .prfe	294
16.5	Archivos de salida para el posprocesamiento en QGIS	295
16.5.1	Resultados generales en las celdas	295
16.5.2	Archivos de concentración de derrames de petróleo en tierra considerando la transferencia de calor (módulo OilFlow2D Overland Spills)	296
16.5.3	Archivos de concentración de contaminantes (módulo PL)	297
16.5.4	Archivos de concentración de sedimentos y fracción del lecho (módulo ST)	297
16.5.5	Archivos de concentración y propiedades de lodos y relaves (módulo MT)	298
16.5.6	Archivos de salida de petróleo y plásticos (módulos OilFlow2D Spills On Water y Plastics)	299
16.5.7	Archivos de valores máximos	303
16.5.8	Archivo de salida de tiempo hasta la profundidad en las celdas	303
16.5.9	Archivo de salida de valores de intensidad del peligro en las celdas	304
16.6	Archivos de salida VTK para Paraview	305
17	Herramientas de HydroBID Flood	306
17.1	Ejecución automatizada por lotes de simulaciones del modelo	306
17.1.1	Uso de un script de MS-DOS para ejecutar varias simulaciones por lotes	306

17.1.2	Uso de un script de Python dentro de QGIS para ejecutar varias simulaciones por lotes	307
17.1.3	Uso de un script de Python mediante un archivo por lotes para ejecutar varias simulaciones	307

Lista de Figuras

1.1	Malla de celdas triangulares de HydroBID Flood.	2
1.2	Gráfico que muestra las elevaciones de la superficie del agua calculadas con HydroBID Flood.	6
2.1	Ventana de complementos de QGIS que muestra Hydronia2DMS instalado para la versión 10 y posteriores.	13
2.2	Ventana de complementos que muestra HydroBID Flood independiente activado (pre-v10/independiente).	13
2.3	Ubicación de la carpeta de documentación de HydroBID Flood.	18
3.1	Capas estándar creadas al utilizar el comando New HydroBID Flood Project. . . .	19
4.1	Malla flexible típica de HydroBID Flood.	23
4.2	Diálogo de <i>CellSize</i>	24
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>	24
4.4	Malla generada a partir de los polígonos de la figura correspondiente, añadiendo las dos polilíneas de la capa <i>MeshDensityLine</i>	25
4.5	Malla generada a partir del polígono de la capa <i>MeshDensityPolygon</i>	26
4.6	Malla generada a partir de los polígonos y polilíneas de la figura correspondiente, añadiendo la polilínea de 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 que la malla tenga nodos a lo largo de ellas.	26
4.7	Panel de capas de QGIS con la capa <i>Boundary Conditions</i> seleccionada.	27
4.8	Selección de Toggle Editing (lápiz) y Add Feature.	27
4.9	Polígono de condición de contorno de entrada.	27
4.10	Diálogo de condiciones de contorno.	28
4.11	Panel BC Data de la condición de contorno.	28
4.12	Panel de capas de QGIS con la capa Manning N seleccionada.	29
4.13	Selección de Toggle Editing (lápiz) y Add Feature.	29
4.14	Polígono de n de Manning.	29
4.15	Diálogo New Project.	30
4.16	Opciones de generación de mallas.	31
4.17	Vista esquemática del deslizamiento.	32
4.18	Añadir la capa LandSlides.	32
4.19	Atributos de profundidad o volumen del deslizamiento.	33
4.20	Concentración de todas las clases que forman el material del deslizamiento. . . .	33

5.1	Representación uniforme por tramos de las variables de flujo.	37
5.2	Parámetros de la celda.	38
5.3	Parámetros de la celda.	39
5.4	Condiciones de contorno abiertas y cerradas.	42
5.5	Separación necesaria entre condiciones de contorno abiertas adyacentes.	43
5.6	Caudal de entrada de agua impuesto como velocidades (BCTYPE 6).	44
5.7	Sección transversal rectangular de entrada.	47
5.8	Sección transversal irregular de entrada.	48
5.9	Evaluación de d_{min}	49
5.10	Nuevo nivel de agua para la sección de entrada.	50
5.11	Condición de pared sólida.	52
6.1	Parámetros de la celda.	64
6.2	Panel Sediment Transport del DIP.	65
7.1	Distribución de velocidad y esfuerzo para el modelo viscoplastico cohesivo.	74
7.2	Distribución de velocidad y esfuerzo para el modelo viscoplastico no lineal de fricción.	75
7.3	Comportamiento de la resistencia basal para el modelo viscoplastico no lineal de fricción.	76
7.4	Panel Mud/Tailings Flow del DIP.	80
7.5	Fórmulas del esfuerzo de fluencia en función de la concentración volumétrica C_v	81
7.6	Fórmulas de viscosidad en función de la concentración volumétrica C_v	81
8.1	Posibles escenarios hidráulicos en el modelo acoplado HydroBID Flood EPA-SWMM.	83
8.2	Diagrama esquemático de un sistema de drenaje de azotea. La tubería vertical conduce el agua de lluvia desde el techo (elevación z_2) hasta el nivel de la calle (elevación z_1).	84
9.1	Representación física del intercambio de masa de soluto entre celdas con $q_{i-1/2}^\downarrow, q_{i+1/2}^\downarrow > 0$	88
9.2	Extracción de masa de soluto en una celda de contorno de salida.	88
9.3	Panel <i>Pollutant Transport</i> del DIP.	89
12.1	Aceleración al utilizar el código paralelizado de RiverFlow2D en función del número de núcleos del procesador.	99
12.2	Aceleración al utilizar el código paralelizado de RiverFlow2D en función del número de núcleos del procesador.	100
13.1	Panel DIP <i>Control Data</i> con el componente Puentes seleccionado.	102
13.2	Vista frontal de una sección transversal de un puente.	105
13.3	Vista superior de un puente que muestra las secciones transversales de interés. Por simplicidad, sólo se representan dos pilares.	106
13.4	Ejemplo sencillo de A_1 , A_2 , A_3 y A_4 utilizados para calcular la pérdida de carga en puentes de superficie libre.	107
13.5	Ejemplo simple de A_1 , A_2 , A_3 y A_4 utilizados para calcular la pérdida de carga en puentes parcialmente sumergidos.	107

13.6	Ejemplo simple de A_1 , A_2 , A_3 y A_4 utilizados para calcular la pérdida de carga en puentes completamente sumergidos.	107
13.7	Aplicación del esquema en mallas estructuradas triangulares. Puente normal (izquierda) y puente oblicuo (derecha).	108
13.8	Proporciones de los pilares del puente utilizadas para evaluar la influencia del ancho de la estructura.	109
13.9	Influencia del ancho de la estructura en el cambio de altura total (ΔH) a través del puente en función del número de Froude aguas abajo.	109
13.10	Cuadro de diálogo DIP <i>Control Panel</i> con el componente Bridge Piers seleccionado.	110
13.11	Pilares dentro de las celdas.	111
13.12	Vista esquemática de un pilar rectangular.	111
13.13	Cuadro de diálogo DIP <i>Global Parameters</i> con el componente de alcantarillas seleccionado.	112
13.14	Polígonos de alcantarilla de entrada y salida.	121
13.15	Vista esquemática de corte perpendicular a la estructura de una puerta.	122
13.16	Modos de flujo a través de puertas.	122
13.17	Panel DIP <i>Control Data</i> con el componente Gates seleccionado.	123
13.18	Niveles de agua para descarga bajo compuerta en condiciones sumergidas formulados como en (G1).	124
13.19	Niveles de agua para descarga bajo compuerta en condiciones sumergidas formulados como en (G2).	124
13.20	Dimensiones esquemáticas para el modo de falla de rotura de presa prescrito. . .	136
13.21	Celdas de límite interno.	140
14.1	Diálogo para abrir un proyecto en DIP.	142
14.2	Ventana principal de DIP.	143
14.3	Panel <i>Control Data</i>	144
14.4	Panel de transporte de sedimentos.	148
14.5	Panel de drenaje urbano EPA-SWMM.	151
14.6	Panel de flujo de lodos y relaves.	152
14.7	Panel de transporte de contaminantes.	155
14.8	Panel de salida gráfica.	156
14.9	Archivo de salida de perfil.	158
14.10	Panel de salida de sección transversal.	159
14.11	Panel de alcantarillas con datos en la curva de aforo.	160
14.12	Panel de tablas de aforo internas.	161
14.13	Panel de vertederos.	162
14.14	Panel de fuentes y sumideros.	163
14.15	Panel de socavación de puentes.	164
14.16	Panel de pilas de puentes.	166
14.17	Panel de puntos de observación.	167
14.18	Panel de herramientas.	168
15.1	Ejemplo de una malla de HydroBID Flood.	171
15.2	Vista frontal de una sección transversal de puente.	191

15.3 Lectura del archivo de múltiples fuentes. 220

15.4 Diálogo de múltiples fuentes. 220

1 | Introducción

Esta sección presenta el sistema de ecuaciones, la formulación de las condiciones de contorno y el esquema de volúmenes finitos utilizado en HydroBID Flood. Las referencias proporcionan información técnica adicional.

HydroBID Flood es un modelo hidrológico e hidráulico combinado de volúmenes finitos para ríos, estuarios y llanuras de inundación, basado en el motor RiverFlow2D de Hydronia¹.

Forma parte del conjunto de modelos de Hydronia, que incluye RiverFlow2D y OilFlow2D. HydroBID Flood puede propagar 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.

HydroBID Flood 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). El complemento recibió financiación parcial del Banco Interamericano de Desarrollo. La integración de HydroBID Flood y QGIS proporciona funciones interactivas para generar y refinar la malla flexible, capas y herramientas GIS conocidas para construir una representación de alto nivel del modelo, y capas de datos para las condiciones de contorno, los valores de Manning n y otros componentes del modelo, lo que permite al usuario gestionar eficientemente todo el proceso de modelado.

HydroBID Flood ofrece un conjunto completo de herramientas de visualización, que incluye representación cartográfica, animaciones y exportación de gráficos en formato shapefile y para Google Earth.

El motor de cálculo de HydroBID Flood implementa un método preciso, rápido y estable de solución por volúmenes finitos que elimina las dificultades relacionadas con las condiciones de contorno y el inicio en caliente de algunos modelos bidimensionales antiguos de malla flexible. HydroBID Flood puede integrar estructuras hidráulicas como alcantarillas, vertederos, puentes, compuertas, tablas de gasto internas y roturas internas de presas y diques. 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 HydroBID Flood, explica los fundamentos del modelo y sus componentes, y describe 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 ayudarle a comenzar a utilizar el modelo y aprender a aplicar componentes del modelo como puentes, alcantarillas, precipitación e infiltración, y vertederos.

¹ RiverFlow2D™ y OilFlow2D™ son marcas registradas de Hydronia, LLC

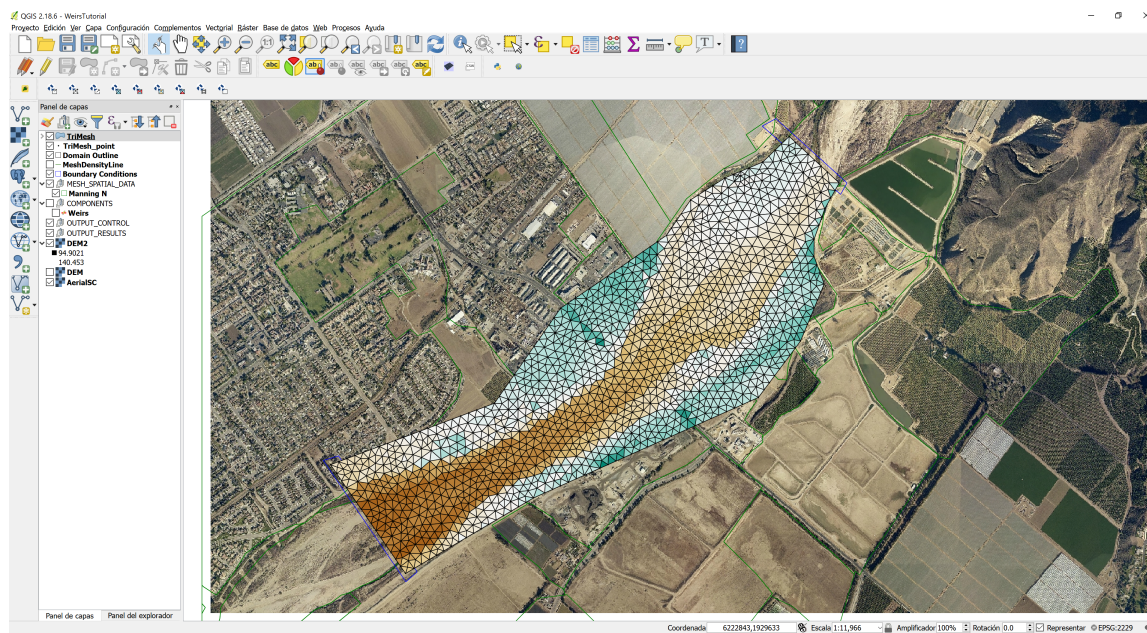


Figura 1.1 – Malla de celdas triangulares de HydroBID Flood.

1.1 Resumen de características y capacidades de HydroBID Flood

1.1.1 Generador de mallas

- Generación automática de una malla flexible 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 varios modelos digitales de elevación en la misma malla según las áreas seleccionadas por el usuario.
- Interpolación espacial de las elevaciones del DEM a 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 en doble precisión para mayor exactitud.
- Paralelización completa con OpenMP para una ejecución más rápida en computadoras con varios núcleos.
- Versión para GPU que permite simulaciones hasta $> 700X$ más rápidas mediante tarjetas gráficas GPU de NVIDIA.

1.1.3 Componentes hidráulicos

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

1.1.4 Formatos de datos de entrada

- Unidades métricas o del sistema inglés.
- 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 en función del tiempo.
- Elevación del agua en función del tiempo.
- Flujo uniforme.
- Tablas de gasto.
- Salida libre.
- Concentraciones de sedimentos suspendidos de entrada (ST Module).

- Caudal sólido de entrada para la opción de carga de fondo (ST Module).
- Concentraciones de contaminantes en la entrada (PL Module).

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 mayor que 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.
- Producto máximo de profundidad por velocidad.
- Esfuerzo cortante máximo.
- Fuerza de impacto máxima por unidad de ancho.

1.1.9 Salida para evaluaciones de peligro

- Peligro para viviendas según el United States Bureau of Reclamation (USBR).
- Peligro para vehículos según el United States Bureau of Reclamation (USBR).
- Peligro para adultos según el United States Bureau of Reclamation (USBR).
- Peligro para niños según el United States Bureau of Reclamation (USBR).
- Método suizo para inundaciones.
- Método suizo para flujos de detritos.
- Método austriaco para inundaciones fluviales.
- Método austriaco para torrentes $T_r = 10$ yrs.
- Método austriaco para torrentes $T_r = 100$ yrs.
- Método del Reino Unido.

- Peligro de 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 la elevación del lecho.
- Áreas de profundidad máxima de erosión.
- Cálculo acoplado o desacoplado.

1.1.12 Módulo de flujo de lodos y relaves (MT)

Nota

El módulo MT se conocía anteriormente como Módulo de flujo de lodos 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 relaves prescrita.
- Cálculo dinámico de la movilización del volumen del depósito de relaves.

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 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 HydroBID Flood.

2 | Instalación y activación de Hydro-BID Flood

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

2.1 Requisitos de hardware

HydroBID Flood es compatible con computadoras de 64 bits que ejecuten las versiones 7 a 11 del sistema operativo MS-Windows. 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. HydroBID Flood puede ejecutarse en computadoras Intel modernas de un solo procesador. Si hay procesadores de varios núcleos (Duo, Quad, etc.) disponibles, el modelo puede ejecutarse en modo de procesamiento paralelo y funcionar mucho más rápido que en computadoras de un solo procesador. Además, mediante la opción GPU, el modelo puede aprovechar tarjetas de unidad de procesamiento gráfico (GPU) de NVIDIA para ejecutarse hasta 700 veces más rápido que en computadoras de un solo procesador.

2.2 Instalación del software

1. Si está instalando en un PC con Windows 7 o posterior, debe haber iniciado sesión en el 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 pasar a la siguiente sección.

2.3 Activación del software

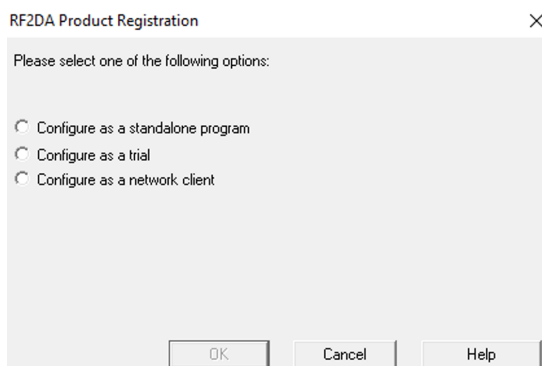
- Independiente: una licencia para una computadora.

- Red: una licencia centralizada que permite varios usuarios simultáneos, según la cantidad de licencias adquiridas. Esto requiere instalar software adicional de gestión de licencias en una computadora accesible de su red.

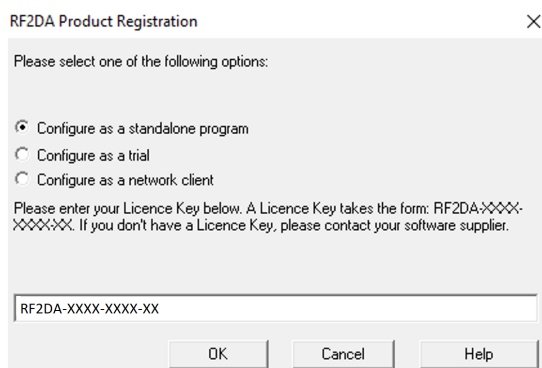
2.3.1 Activación independiente

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, pase a la siguiente sección.

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

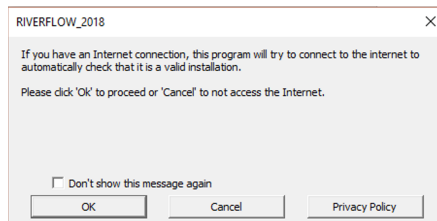


6. Seleccione *Configure as a standalone program*.
7. Introduzca la clave de licencia que se le proporcionó:



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 diálogo.



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

11. Una vez completado el registro, pase a la sección *Activación de los complementos de Hydro-nia en QGIS* que aparece a continuación.

2.3.2 Instalación del servidor de red

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.

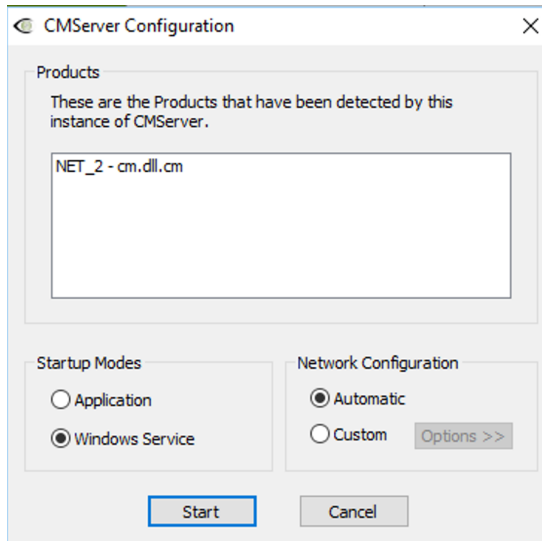
Las máquinas cliente se comunicarán con este servidor para realizar las comprobaciones de protección.

El administrador de red necesitará una clave de licencia (configurada para permitir la instalación de red) para activar la instalación en el servidor. Se recomienda que el administrador de red no revele esta clave de licencia a los usuarios finales, para evitar que intenten activar su copia del software como una instalación de usuario único utilizando esa clave (esto no funcionará).

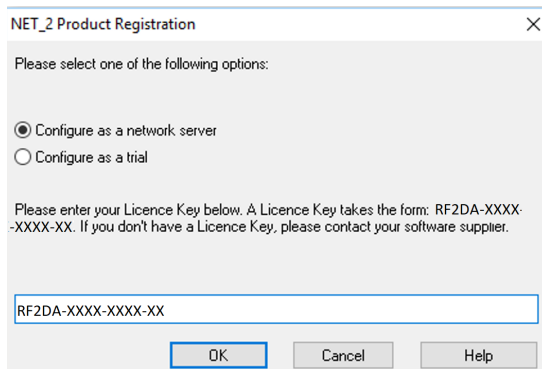
El administrador de red ejecuta en el servidor de red el programa con sus archivos asociados (definidos y distribuidos por Hydronia).

1. Para activar el software, debe abrir el acceso directo de DIP en el escritorio.
2. En la sección *Control Data* de la izquierda, vaya a *Options* y seleccione *License*.
3. Se le pedirá que seleccione una de tres opciones:

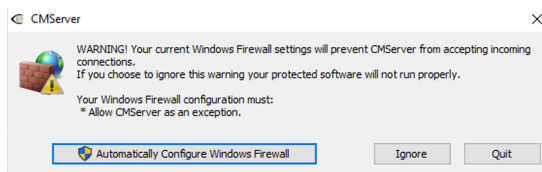
1. Reactivate License
2. Install Network License Server
3. Check for Updates
4. Seleccione *Install Network License Server*.
5. Se mostrará una ventana de configuración.



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.

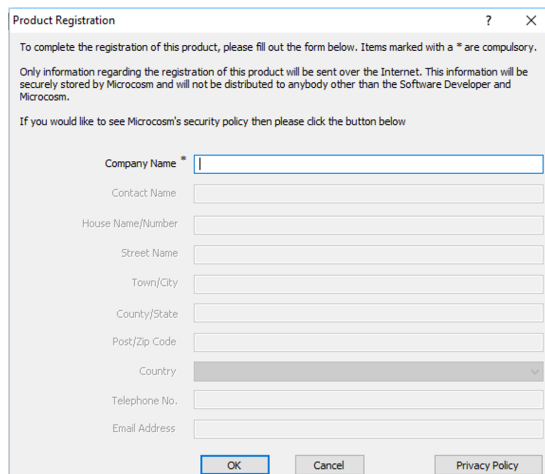


10. Se le pedirá que añada una excepción a las reglas del cortafuegos.



11. Seleccione *Automatically Configure Windows Firewall*.

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



Product Registration

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

Company Name *

Contact Name

House Name/Number

Street Name

Town/City

County/State

Post/Zip Code

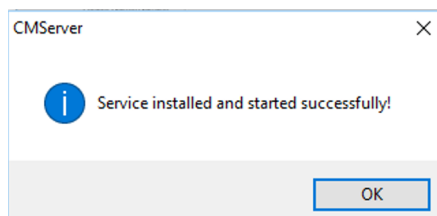
Country

Telephone No.

Email Address

OK Cancel Privacy Policy

13. Si la operación tiene éxito, aparecerá el siguiente mensaje:



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

2.3.3 Instalación del cliente de red

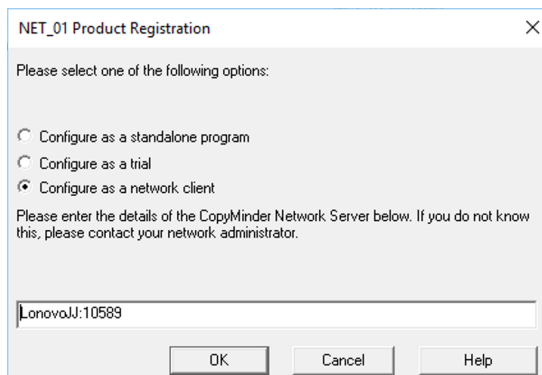
Una vez que el gestor de licencias se esté ejecutando en el servidor, los programas del modelo de Hydronia y sus dependencias deben instalarse en cada estación de trabajo cliente. Consulte la sección *Instalación del software* anterior. Los pasos siguientes suponen que ya ejecutó el programa de instalación en la computadora cliente y está listo para activar el software.

1. Para activar el software, abra el acceso directo de DIP en el escritorio.
2. En la sección *Control Data* de la izquierda, vaya a *Options* y seleccione *License*.
3. Se le pedirá que seleccione 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 servidor de red y completará los datos. Si no completa esta información, introduzca la dirección IP o el nombre de la computadora.

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 HydroBID Flood.

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 HydroBID Flood haya adquirido.

2.4 Activación de los complementos de Hydronia en QGIS

De forma predeterminada, los complementos desarrollados por Hydronia no estarán habilitados la primera vez que ejecute QGIS.

Para la versión 10 y posteriores, habilite el complemento unificado Hydronia2DMS en la lista *Installed*. Hydronia2DMS proporciona las herramientas con la variante de HydroBID Flood para su instalación. Las entradas de complementos específicos de producto que se muestran en las secciones siguientes se aplican a instalaciones anteriores a v10 o independientes.

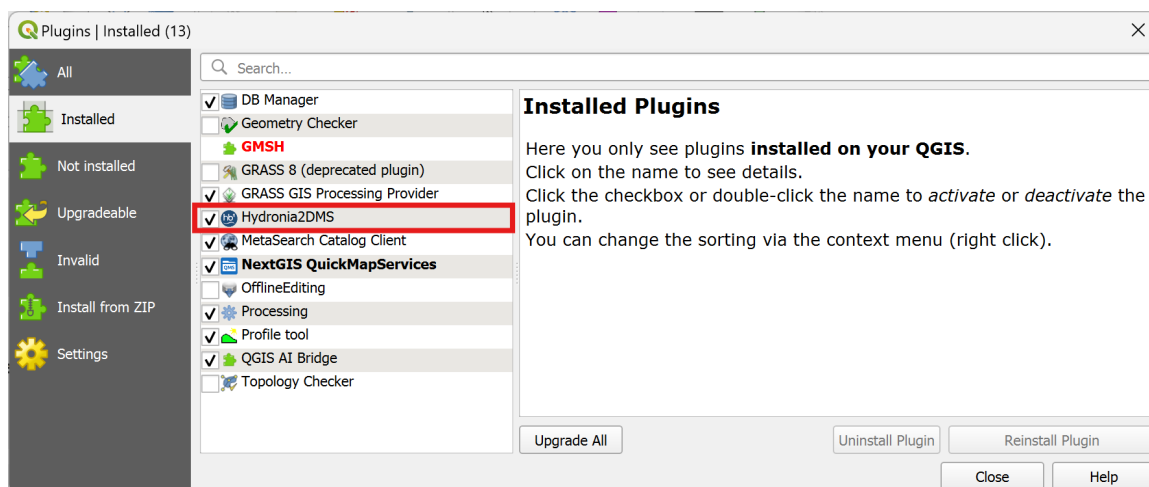


Figura 2.1 – Ventana de complementos de QGIS que muestra Hydronia2DMS instalado para la versión 10 y posteriores.

2.4.1 Activación del complemento HydroBID Flood (pre-v10 o independiente)

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

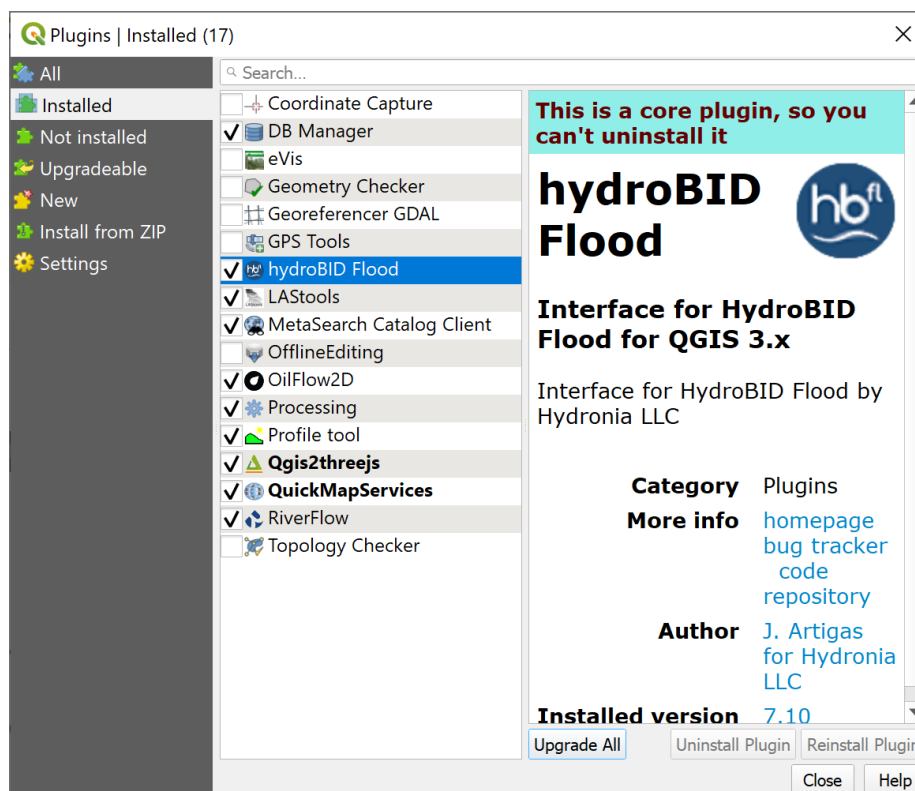
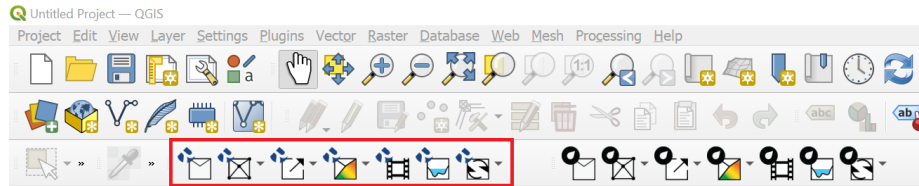


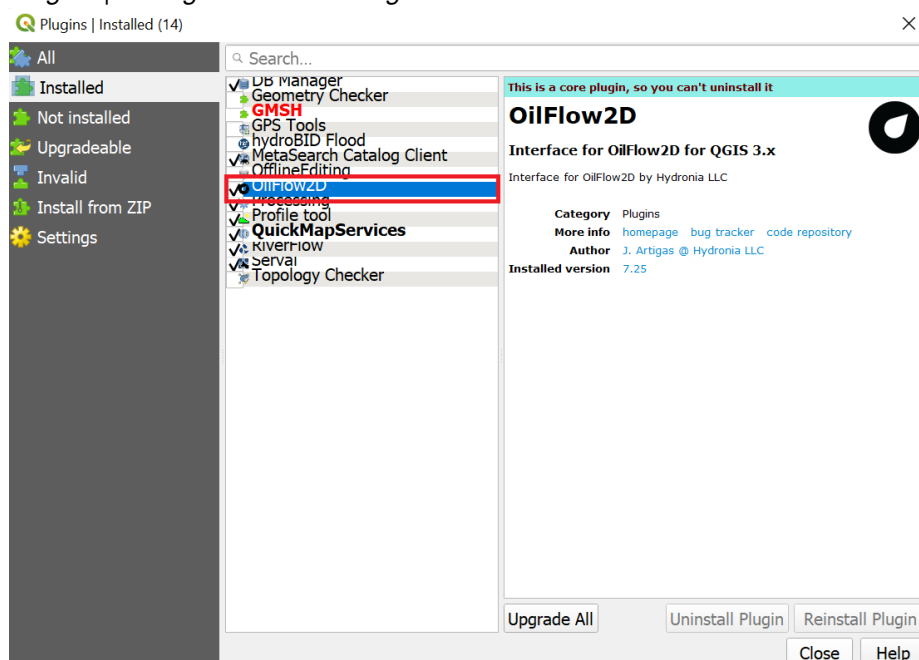
Figura 2.2 – Ventana de complementos que muestra HydroBID Flood independiente activado (pre-v10/independiente).

Después, compruebe que los iconos del complemento HydroBID Flood aparezcan en el área de la barra de herramientas de QGIS:

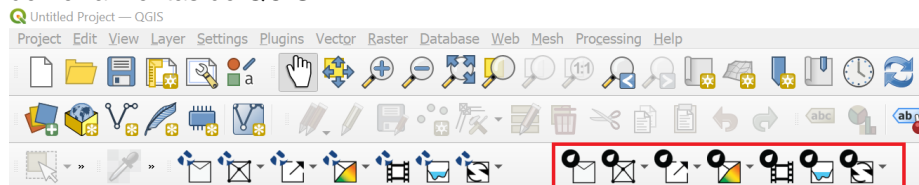


2.4.2 Activación del complemento OilFlow2D (pre-v10 o independiente)

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



Después, compruebe que los iconos del complemento OilFlow2D aparezcan en el área de la barra de herramientas de QGIS:

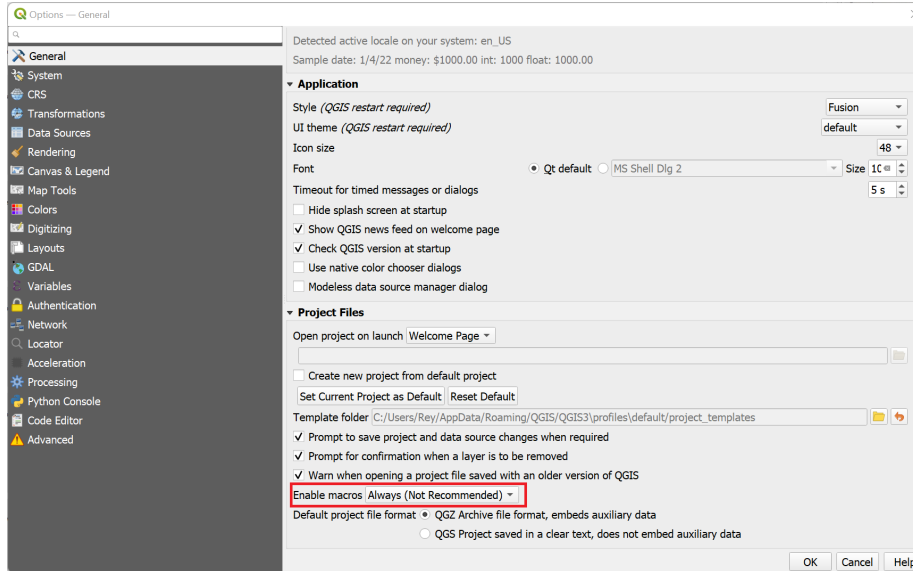


2.4.3 Activación de macros en QGIS

Para utilizar correctamente el complemento HydroBID Flood es necesario habilitar el uso de macros en QGIS. Para ello, acceda al 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 y no es aplicable a los complementos de Hydronia.



2.5 Solución de problemas

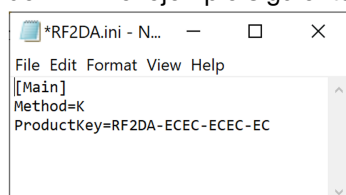
En esta sección incluimos soluciones para algunos problemas que pueden producirse durante la instalación del software. Recuerde que siempre puede ponerse en contacto con el equipo de soporte de Hydronia para informar de cualquier mensaje de error o problema que encuentre durante la instalación.

2.5.1 Cómo encontrar la 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 utilice:

- Independiente: C:\ProgramData\AVU\RF2DA.ini
- Servidor de licencias de red: C:\Program Files\Hydronia\LicenseManager\RF2DA.ini

Abra el archivo con Notepad o cualquier otro editor de texto; la clave de licencia aparecerá después de """. En el ejemplo siguiente, la clave de licencia es:



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

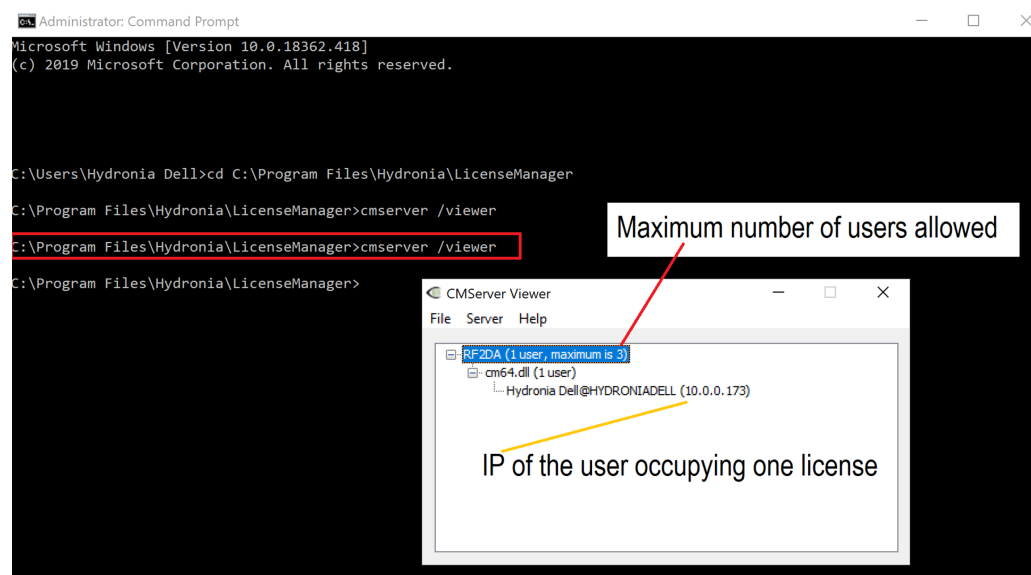
Puede comprobar cuántos usuarios ocupan cada licencia y conocer el ID de su computadora mediante el programa visor instalado en la carpeta.

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

Si CMserver se ejecuta como servicio, puede iniciar la GUI del visor desde la línea de comandos de la siguiente manera:

1. Abra el cuadro de búsqueda de Windows y pulse *Enter*.
2. Introduzca el comando correspondiente y pulse *Enter*.
3. Introduzca el comando correspondiente y pulse *Enter*.

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



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, a veces 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 el problema, abra el Administrador de tareas de Windows y, en la pestaña de procesos, 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 terminará 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 deberse a haber especificado una Product Key en una computadora cliente de red en lugar del License Manager Host Name. Para una instalación de red, cuando el modelo se ejecute por primera vez en una computadora cliente, debe seleccionar *Configure as a network client* e introducir el Host Name de la computadora donde está instalado el gestor de licencias de red. 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 debe a haber utilizado una clave de licencia destinada únicamente a instalaciones de red con una licencia que se ha configurado para uso independiente. Para resolverlo, instale el Network License Server como se indica en la sección de 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 HydroBID Flood se ha instalado o reactivado más veces de las permitidas por el programa de protección. No indica necesariamente un uso indebido del modelo. Si recibe este error, envíe un correo electrónico al 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 HydroBID Flood

Encuentre la documentación de HydroBID Flood, incluido este manual, en la siguiente carpeta. Normalmente se instala en la ubicación indicada en la figura correspondiente. También encontrará allí proyectos de ejemplo, vídeos y otros recursos útiles.

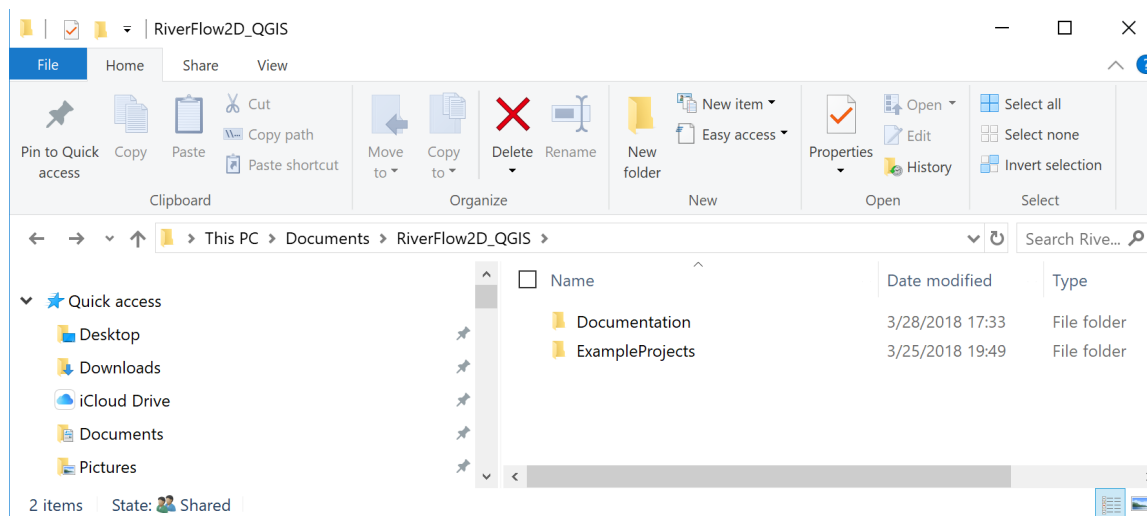


Figura 2.3 – Ubicación de la carpeta de documentación de HydroBID Flood.

2.7 Soporte técnico de HydroBID Flood

Si tiene preguntas o necesita ayuda para utilizar HydroBID Flood, envíe un correo electrónico a nuestro equipo de soporte a:

<mailto:contact@hydrobidlac.org>. Asegúrese de visitar regularmente nuestro sitio web <https://www.hydrobidlac.org> para conocer nuevos productos y noticias sobre el software.

2.8 Tutoriales de HydroBID Flood

La mejor manera de familiarizarse con las capacidades de HydroBID Flood es seguir los tutoriales. Los materiales de HydroBID Flood incluyen tutoriales para comenzar a utilizar el modelo y varios de sus componentes. Cada tutorial incluye un conjunto de archivos que puede utilizar para realizar cada ejercicio.

3 | Descripción general de HydroBID Flood

Cuando crea un proyecto nuevo de HydroBID Flood en QGIS, el complemento crea varias capas vacías, cada una con una finalidad específica y asociada a determinados componentes o módulos. El conjunto estándar incluye las capas que se muestran en la figura. La descripción de cada capa se incluye en la tabla.

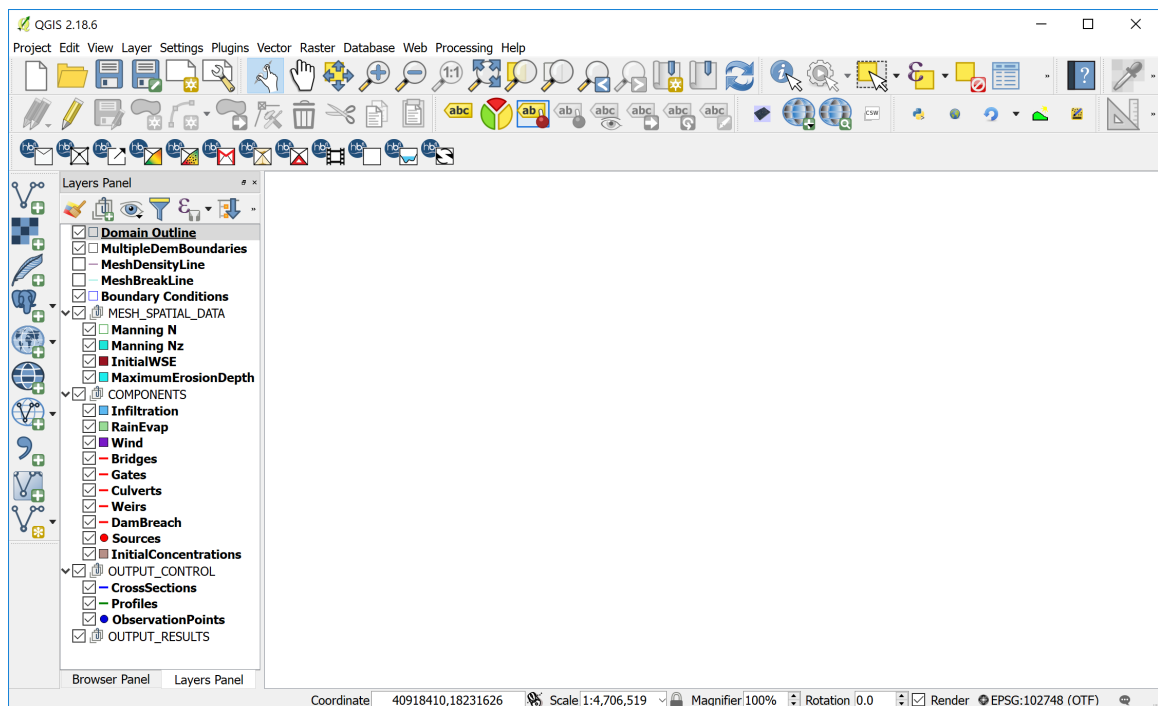


Figura 3.1 – Capas estándar creadas al utilizar el comando New HydroBID Flood Project.

Contenido		
Contenido		
TriMesh	Polygon	Contiene las celdas triangulares de la malla. El programa de generación de mallas la crea automáticamente.

Contenido		
main Outline Polygon	Polygon	Contenedor del polígono externo obligatorio que define la extensión del área de modelado. 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 deseado de los triángulos de la malla generada.
MultipleDemBoundaries	Polygon	Se utiliza para introducir polígonos que definen áreas con diferentes conjuntos de datos de elevación del terreno. Puede asociar cada polígono a una capa ráster distinta 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 líneas de rotura 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 sí obligan al generador de mallas a crear nodos a lo largo de ellas. Por tanto, actúan como líneas de rotura duras.
Boundary Conditions	Polygon	Contenedor de polígonos que definen las condiciones de contorno abiertas del modelo, ya sean de entrada o de salida. Todas las celdas de contorno situadas dentro de estos polígonos serán celdas de contorno abiertas.
ESH_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 a las celdas.
Manning N	Polygon	Define áreas con diferentes valores de Manning n.
Manning Nz	Polygon	Acepta polígonos asociados a archivos que contienen tablas de Manning n en función de la profundidad.
InitialWSE	Polygon	Contenedor de áreas con elevaciones iniciales de la superficie del agua (WSE).
MaximumErosionDepth	Polygon	Contenedor de polígonos con el atributo de profundidad máxima de erosión (MED). Al utilizar el módulo de Transporte de sedimentos ST, el modelo no permitirá que la erosión reduzca la elevación del lecho por debajo de la elevación inicial del lecho menos MED.
COMPONENTS		

		Contenido
Infiltration	Polygon	Define áreas con diferentes parámetros de infiltración.
RainEvap	Polygon	Contenedor de áreas asociadas a una intensidad de precipitación 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 líneas de rotura 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 línea de rotura dura.
Inverts Li	Line Co	Contiene líneas que conectan dos puntos del área de modelado mediante alcantarillas. El modelo calculará el caudal de la alcantarilla según los datos proporcionados y transferirá el caudal de la celda de entrada de la alcantarilla a la celda de salida.
Weirs	Line	Contenedor de polilíneas que definen vertederos. Cada entidad tendrá datos específicos que caracterizan el vertedero. La línea actuará como una línea de rotura dura.
DamBreach	Line	Contiene polilíneas que representan presas o diques en planta. Permiten al modelo calcular el caudal a través de las roturas de diques o presas.
Sources	Point	Contenedor de fuentes o sumideros puntuales. Los datos de las fuentes incluyen una serie temporal de caudal en función del tiempo. Al utilizar el módulo de Transporte de contaminantes PL, los datos deben incluir concentraciones de cada contaminante además del caudal. Los sumideros se definen mediante caudales negativos.
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 aceite a partir de los resultados existentes de una ejecución hidrodinámica.

Contenido		
Piers	Point	Contenedor de ubicaciones de pilas de puentes. Las pilas se utilizan para introducir datos que permitirán al modelo calcular la socavación alrededor de las pilas.
Abutments	Line	Contenedor de ubicaciones de estribos de puentes. Los estribos se utilizan para introducir datos que permitirán al modelo calcular la socavación alrededor de los estribos.
StormDrain	Point	Contenedor que indica los puntos de intercambio de flujo entre el agua superficial y la red de drenaje pluvial de un modelo EPA-SWMM.
UTPUT_CONTROL 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 resultados en archivos de texto para cada intervalo de informe.
Observation Points	Point	Contenedor de ubicaciones donde el modelo escribirá resultados en cada intervalo de informe.
TPUT_RESULTS Group Grupo	que inclu	ye capas con resultados del modelo que el programa incorporará al crear gráficos específicos con resultados del modelo.
: Capas de HydroBID Flood.		

4 | Generación de mallas en Hydro-BID Flood

La base del motor computacional de HydroBID Flood es la malla flexible, también llamada malla no estructurada o red triangular irregular (TIN). La malla está formada por triángulos, generalmente de distintos tamaños, y se denomina flexible porque puede adaptarse a la topografía irregular, los límites, las estructuras o cualquier obstáculo que exista en el área de modelación (véase la figura correspondiente).

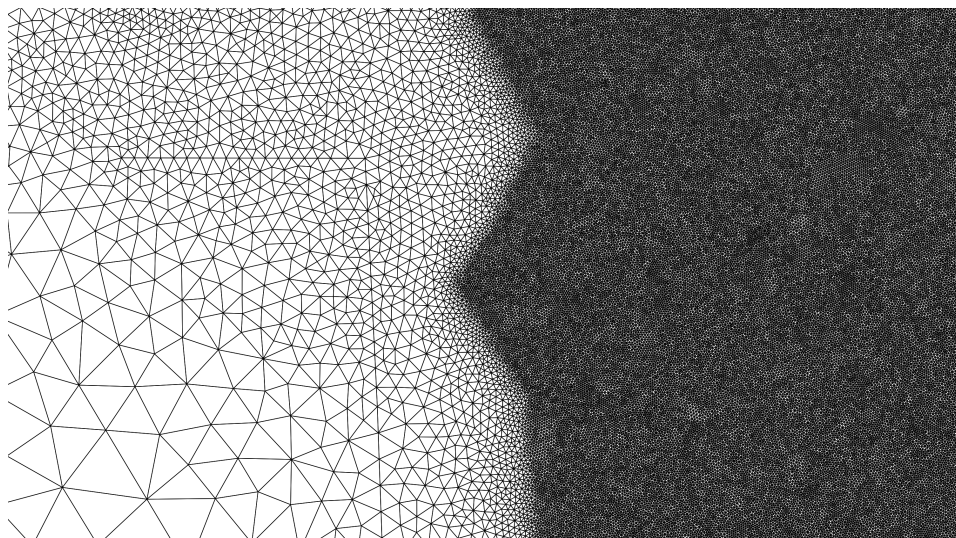


Figura 4.1 – Malla flexible típica de HydroBID Flood.

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

En HydroBID Flood hay varias herramientas que pueden utilizarse para controlar la generación de la malla. Estas herramientas utilizan objetos espaciales, como polilíneas y polígonos, y parámetros que pueden introducirse 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 modelación. Acepta polígonos y debe contener al menos uno. También puede incluir polígonos internos que representen islas impermeables u otros obstáculos. Los polígonos internos no contendrán celdas.

Para cada polígono de la capa *Domain Outline* debe introducirse un atributo *CellSize* que controle el tamaño aproximado de triángulo deseado para la malla generada (véase la figura correspondiente).

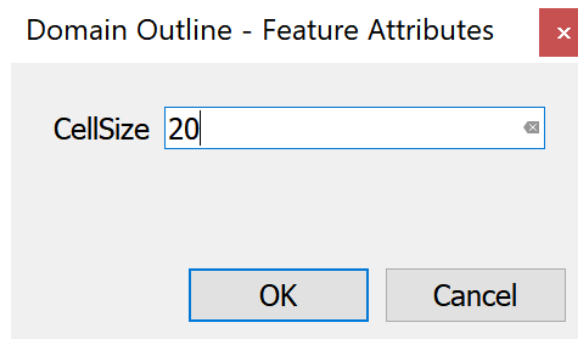


Figura 4.2 – Diálogo de *CellSize*.

La figura muestra una malla con un hueco. La malla está definida por un polígono externo con *CellSize* igual a 50 ft, mientras que 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.

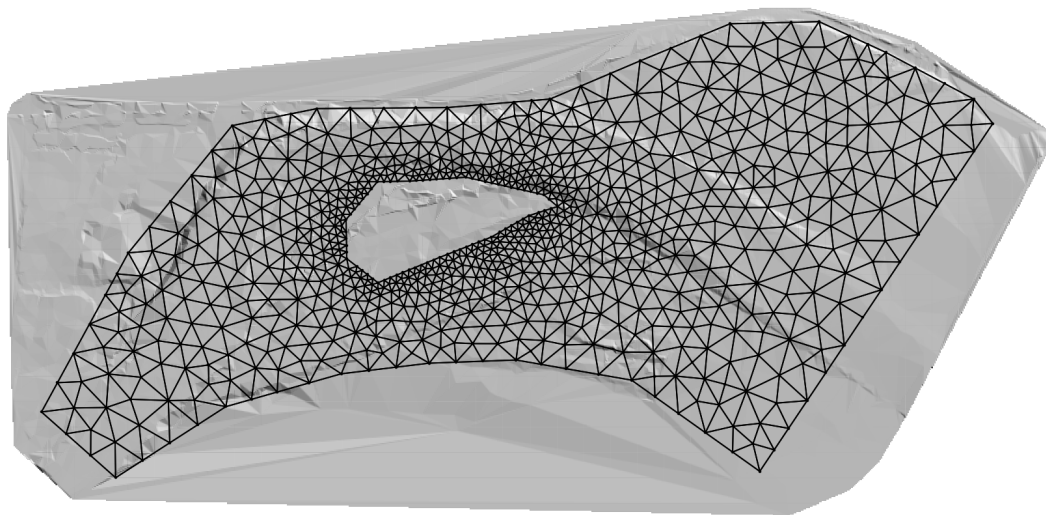


Figura 4.3 – Malla generada a partir de un polígono externo con *CellSize* = 50ft y un polígono interno con *CellSize* = 10ft, ambos introducidos en la capa *Domain Outline*.

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 mallas refinará la malla de acuerdo con el atributo *CellSize* de cada polilínea. Las polilíneas no obligarán al generador de mallas a crear nodos a lo largo de las líneas. En este sentido, actúan como líneas de rotura blandas (véase la figura correspondiente).

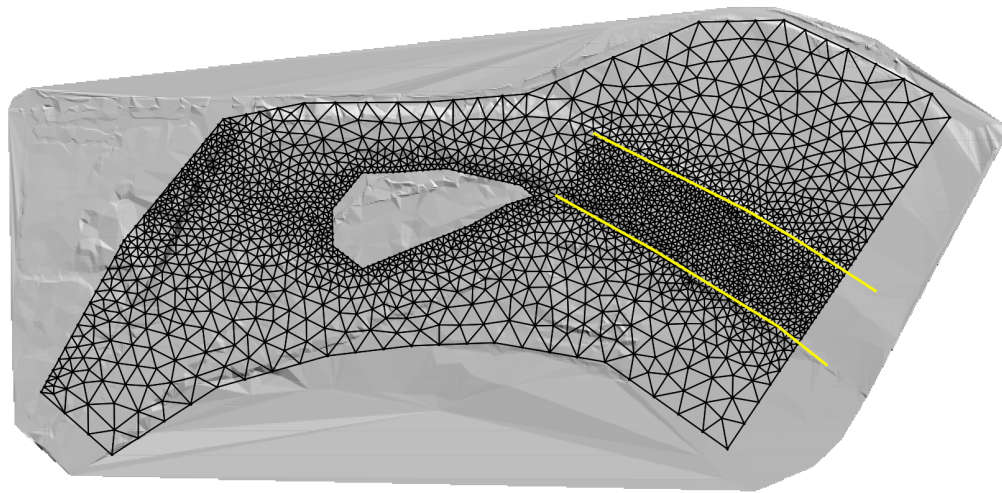


Figura 4.4 – Malla generada a partir de los polígonos de la figura correspondiente, añadiendo las dos polilíneas de la capa *MeshDensityLine*.

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 mallas refinará la malla de acuerdo con el atributo *CellSize* de cada polígono. Los contornos de los polígonos no obligarán al generador de mallas a crear nodos a lo largo de sus límites (véase la figura correspondiente).

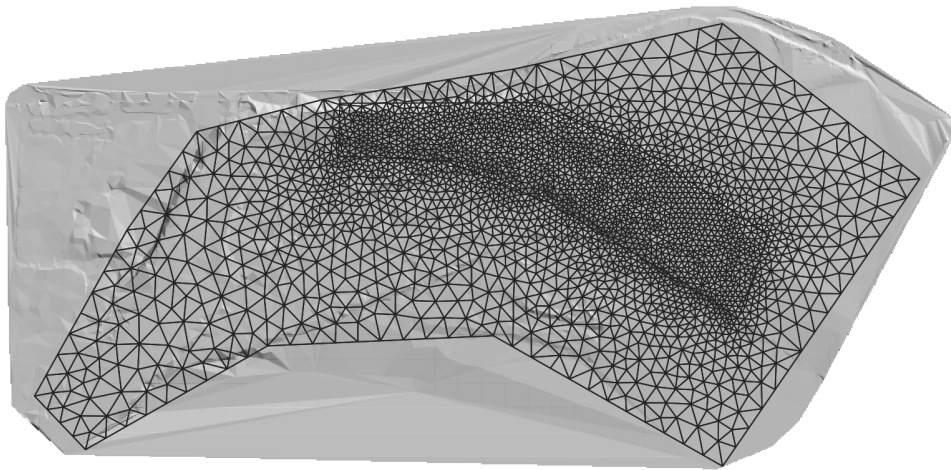


Figura 4.5 – Malla generada a partir del polígono de la capa *MeshDensityPolygon*.

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 mallas 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 mallas a crear nodos a lo largo de ellas. Por lo tanto, actúan como líneas de rotura duras (véase la figura correspondiente).

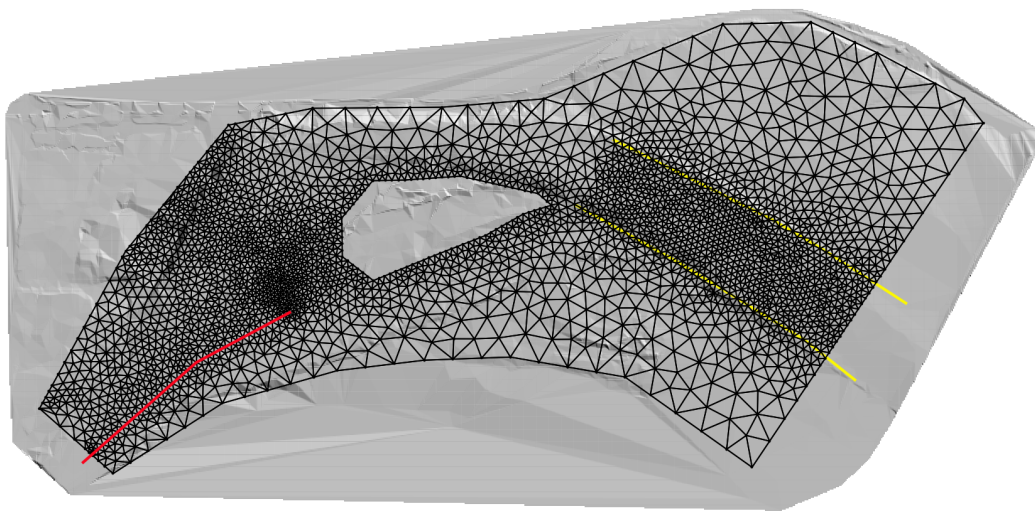


Figura 4.6 – Malla generada a partir de los polígonos y polilíneas de la figura correspondiente, añadiendo la polilínea de la capa *MeshBreakLine*. Observe que, a diferencia de la capa *MeshDensityLine*, las polilíneas introducidas en la capa *MeshBreakLine* obligan a que la malla tenga nodos a lo largo de ellas.

Además del control ofrecido por los objetos espaciales introducidos en las capas *Domain Outline*, *MeshDensityLine*, *MeshDensityPolygon* y *MeshBreakLine*, pueden utilizarse 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 sus respectivas capas y todos tienen un atributo *CellSize* que produce el mismo efecto que las líneas de rotura de la malla.

4.5 Condiciones de contorno

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

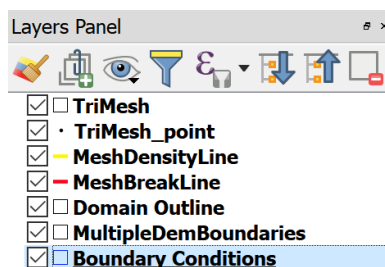


Figura 4.7 – Panel de capas de QGIS con la capa *Boundary Conditions* seleccionada.

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

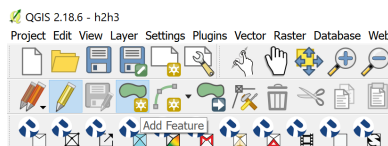


Figura 4.8 – Selección de Toggle Editing (lápiz) y Add Feature.

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

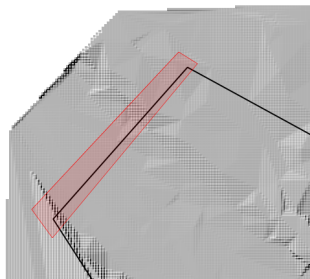


Figura 4.9 – Polígono de condición de contorno de entrada.

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

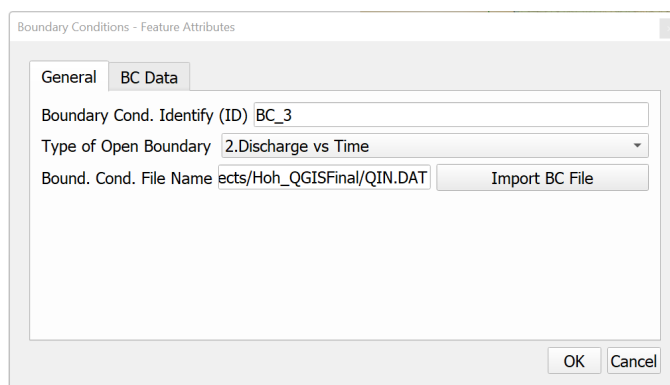


Figura 4.10 – Diálogo de condiciones de contorno.

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

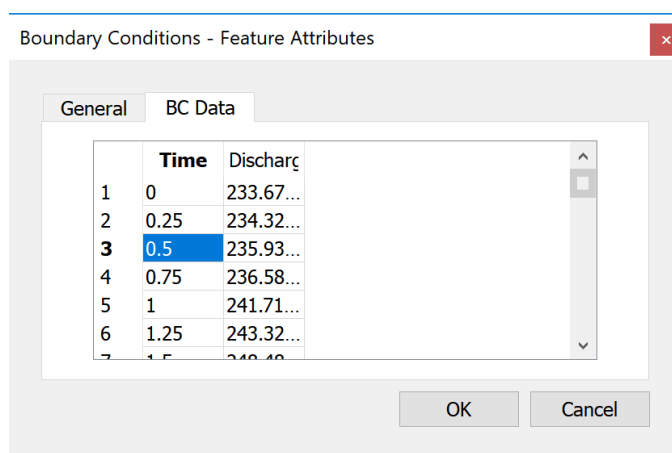


Figura 4.11 – Panel BC Data de la condición de contorno.

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

Puede definir tantos contornos de entrada y salida como sean necesarios. Todo contorno que no esté contenido en los polígonos BC se considerará un contorno 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 HydroBID Flood, introduzca polígonos en la capa Manning N. Esta capa acepta únicamente polígonos. No se permiten líneas ni puntos. Para introducir un polígono, seleccione primero la capa haciendo clic en Manning N en el panel de capas de QGIS.

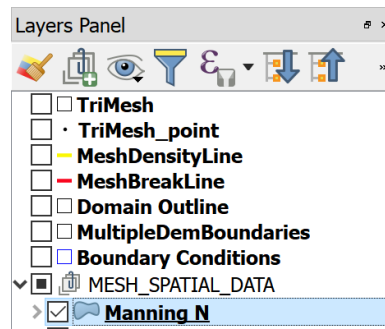


Figura 4.12 – Panel de capas de QGIS con la capa Manning N seleccionada.

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

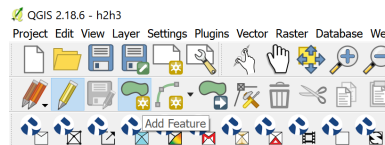


Figura 4.13 – Selección de Toggle Editing (lápiz) y Add Feature.

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

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

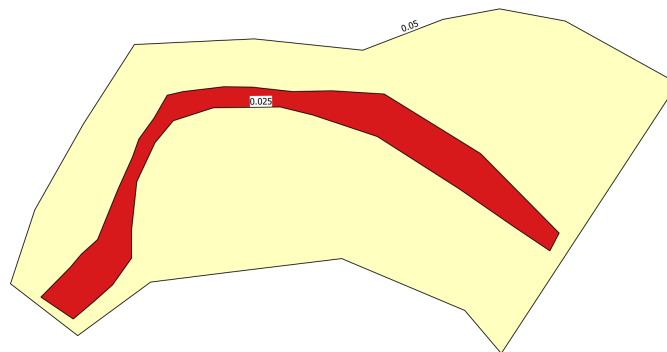


Figura 4.14 – Polígono de n de Manning.

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.

4.7 Funciones de la barra de herramientas de HydroBID Flood

4.7.1 Nuevo proyecto de HydroBID Flood



Este icono se utiliza para crear desde cero una nueva plantilla de proyecto. En el diálogo hay tres acciones necesarias para terminar de crear un proyecto:

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

La figura siguiente muestra el diálogo *Create New HydroBID Flood Project*. Observe que no es necesario seleccionar todas las capas disponibles, sino únicamente las que vaya a utilizar inicialmente en el proyecto. Siempre puede añadir más capas posteriormente mediante el comando *New Template Layer* del icono *Tools* de HydroBID Flood que se describe a continuación.

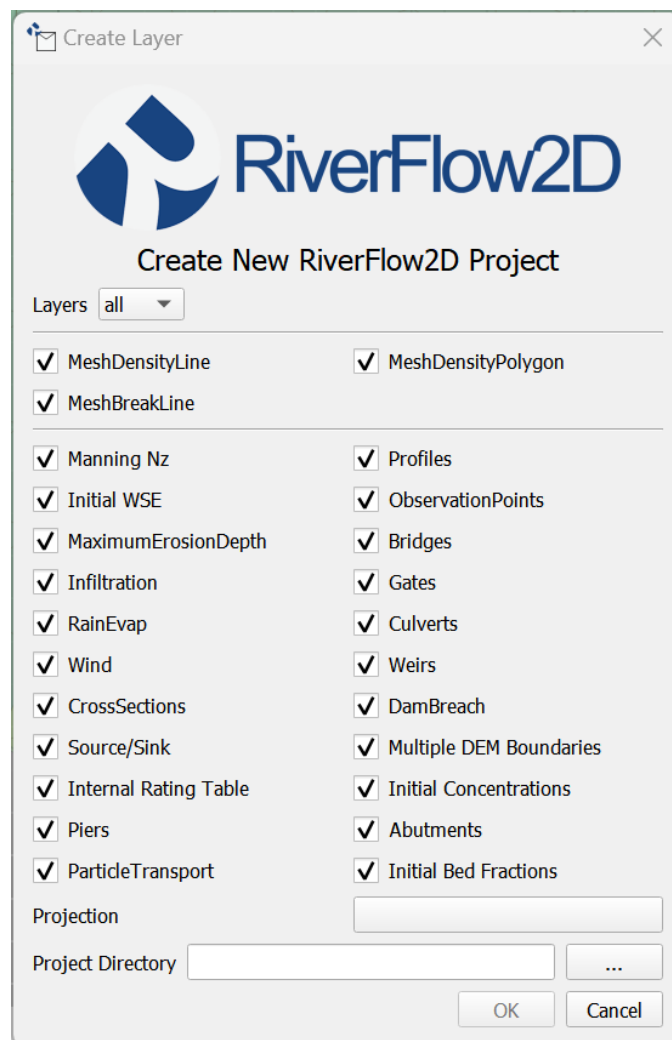


Figura 4.15 – Diálogo New Project.

4.7.2 Generar TriMesh

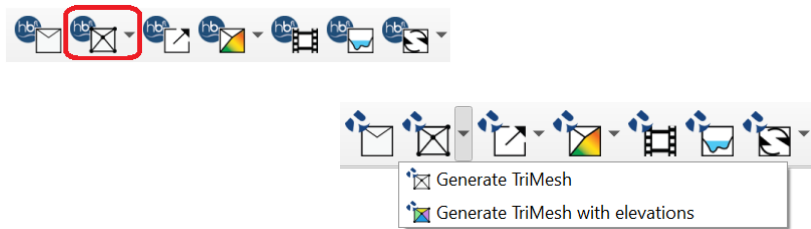


Figura 4.16 – Opciones de generación de mallas.

4.7.3 Exportar archivos para HydroBID Flood



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 (véase la figura correspondiente) y las concentraciones de las clases de sedimentos que forman ese material. Con esta información, el modelo supondrá que el material situado bajo el polígono, hasta la profundidad indicada, puede fluir según las demás condiciones del modelo.

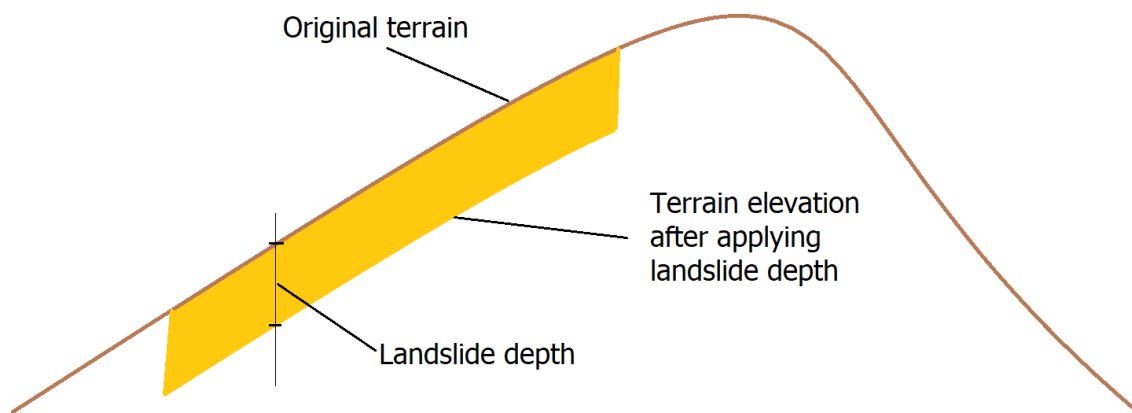


Figura 4.17 – Vista esquemática del deslizamiento.

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

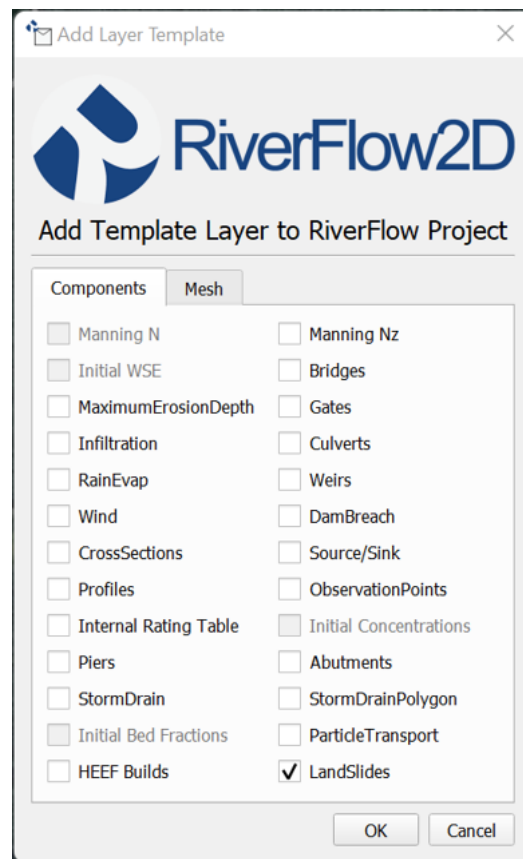


Figura 4.18 – Añadir la capa LandSlides.

A continuación, dibuje un polígono e introduzca la profundidad o el volumen y las concentraciones de las clases de sedimentos tal 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 de deslizamiento cambiarán de la siguiente manera:

- La elevación de la celda será igual a la elevación original del terreno menos la profundidad indicada (véase la figura correspondiente).
- 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 $\text{profundidad} = \text{volumen} / \text{área del polígono}$, y todas las celdas contenidas en los polígonos de 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.

Observe 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 hidrograma. El costo de los modelos numéricos tridimensionales no simplificados puede evitarse mediante las ecuaciones bidimensionales (2D) de aguas someras promediadas en profundidad.

En aplicaciones realistas de las ecuaciones de aguas someras siempre aparecen términos fuente que describen la variación del nivel del lecho y la fricción del lecho y que, si no se discretizan correctamente, pueden producir inestabilidades numéricas. Durante la última década, el esfuerzo principal se ha centrado en mantener un equilibrio discreto entre los términos de flujo y fuente en casos de agua en reposo, lo que condujo a la noción de esquemas bien equilibrados o propiedad C [, ,]. Recientemente se han presentado solucionadores de Riemann aproximados aumentados para incluir correctamente el efecto de los términos fuente en la solución débil [Rosatti et al. (2003),]. De este modo pueden calcularse soluciones precisas sin imponer parámetros de ajuste dependientes del caso, que se utilizan con frecuencia para evitar valores negativos de 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 HydroBID Flood; las referencias amplían esta información.

5.1 Supuestos del modelo hidrodinámico

1. HydroBID Flood utiliza las ecuaciones de aguas someras obtenidas mediante la integración vertical de la ecuación de Navier-Stokes. Por tanto, el modelo no calcula aceleraciones 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 turbulencia y las pérdidas de energía se contabilizan 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 espacial y temporal de la densidad, la viscosidad y el esfuerzo de fluencia.

5.2 Ecuaciones de flujo con 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, junto 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, con h como profundidad del agua, $q_x = uh$ y $q_y = vh$ como caudales unitarios, y (u, v) como componentes promediadas en profundidad del vector de velocidad $\mathbf{u}$ a lo largo de las coordenadas (x, y) , respectivamente. Los vectores de flujo son:

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

donde g es la aceleración de la gravedad. Los términos $\frac{1}{2}gh^2$ de los flujos se obtienen al suponer una distribución hidrostática de 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 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 nivel del fondo 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:

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

siendo n el coeficiente de rugosidad.

Con 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 está 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 malla Ω mediante 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 Ω . Para obtener una solución numérica del sistema, el dominio se divide en celdas computacionales Ω_i mediante una malla fija. Suponiendo una representación por tramos de las variables conservadas, como se muestra en la figura siguiente, y una formulación ascendente y unificada de los flujos y términos fuente

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

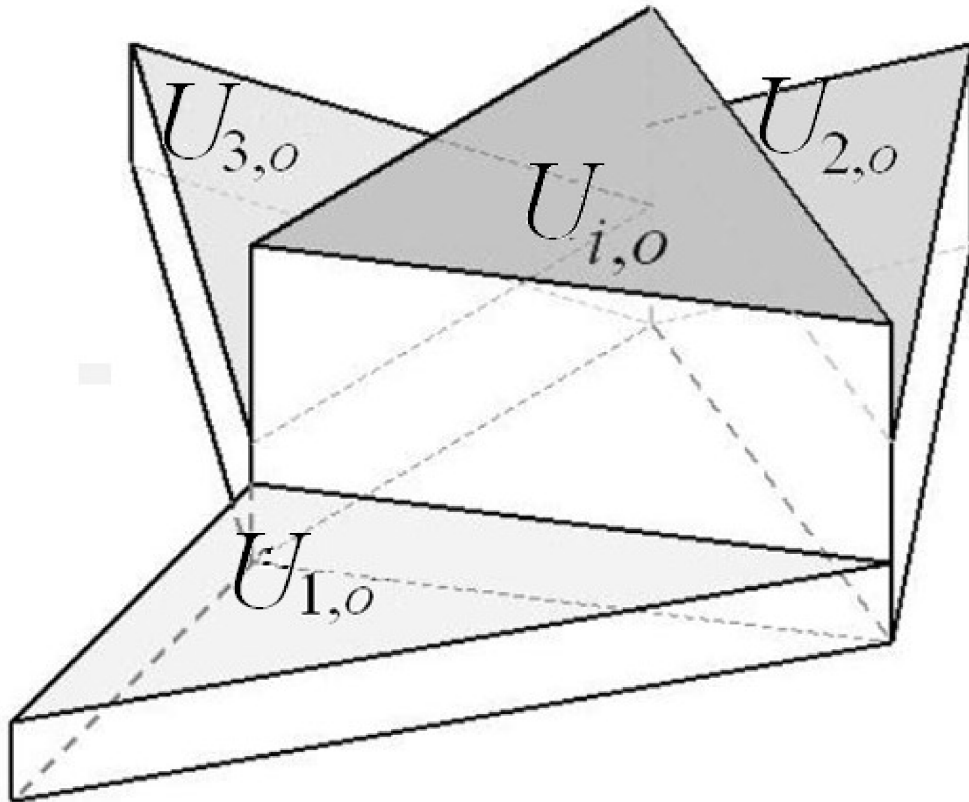


Figura 5.1 – Representación uniforme por tramos de las variables de flujo.

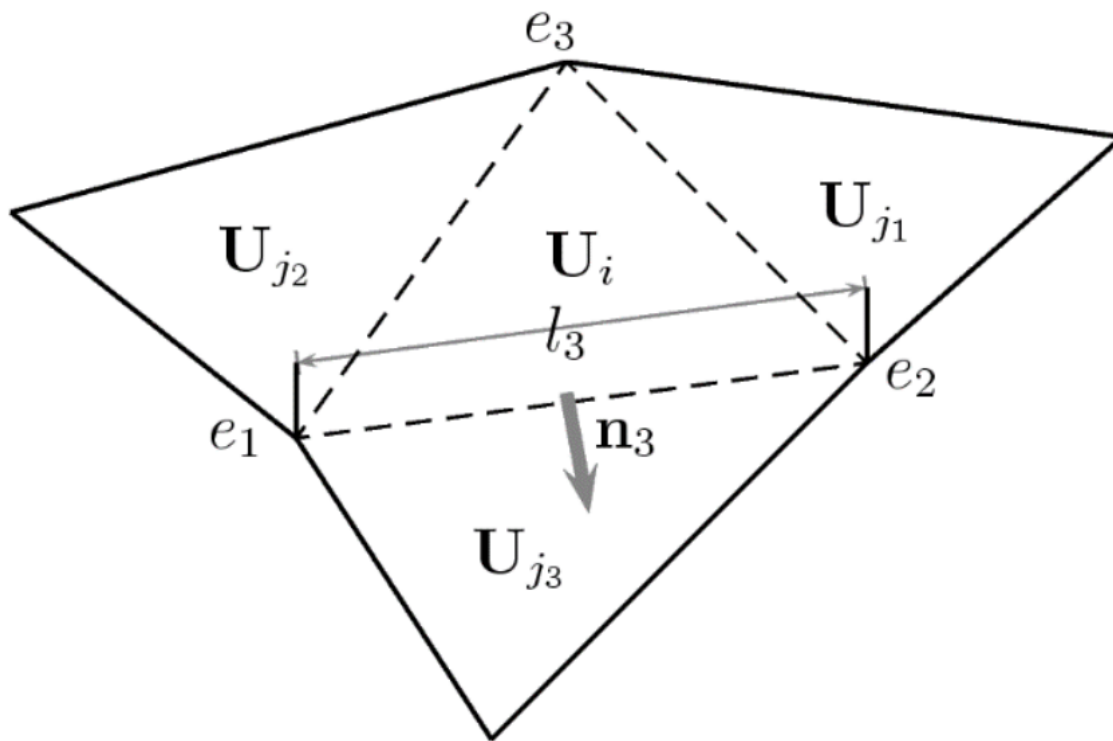


Figura 5.2 – Parámetros de la celda.

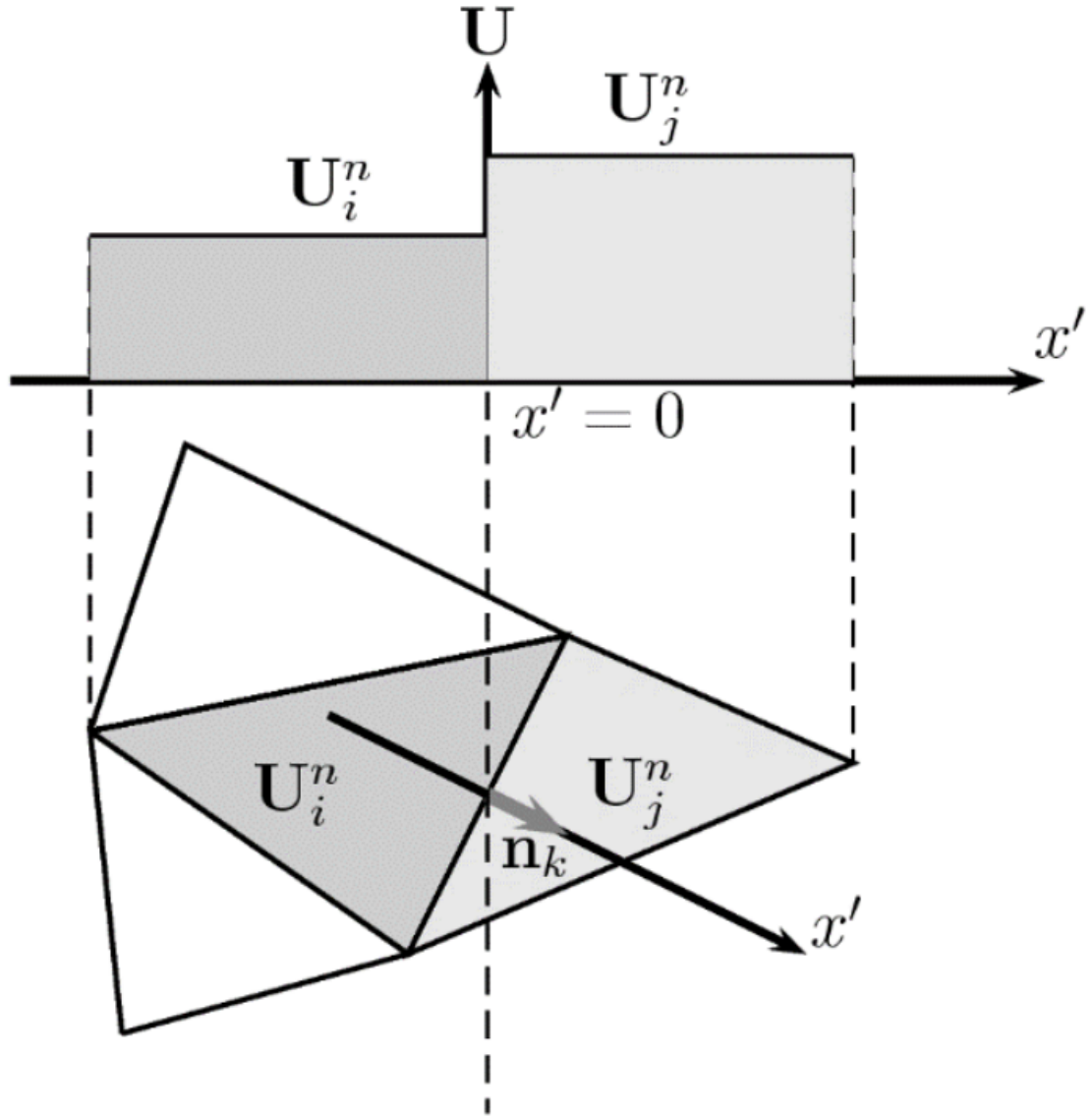


Figura 5.3 – Parámetros de la celda.

La solución aproximada puede definirse mediante 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 con los autovectores de la jacobiana, que hacen diagonal a $\tilde{\mathbf{J}}_{\mathbf{n},k}$.

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

donde $\tilde{\Lambda}_k$ es una matriz diagonal con los autovalores $\tilde{\lambda}_k^m$ 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 del vector $\mathbf{U}$ a través del borde de la malla como el término fuente se proyectan sobre la base de autovectores 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 amplitudes de onda y $\mathbf{B} = (\beta^1, \beta^2, \beta^3)_k^T$ contiene las amplitudes de 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 $(\mathbf{E}\mathbf{n} - \mathbf{S})_k$ como

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

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 introducirse en da 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 en cada celda i y en cualquier celda se cumple la siguiente propiedad geométrica

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

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 mediante una formulación compacta de separación de ondas:

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

con

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

El uso de esta formulación es eficiente al tratar las condiciones de contorno y, al mismo tiempo, garantiza la conservación. En se demostró que, para un esquema numérico escrito en forma separada, la cantidad total de contribuciones calculadas dentro del dominio en cada borde de celda es igual al balance de los flujos que atraviesan el contorno del dominio, lo que demuestra la conservación exacta.

5.3.1 Optimizaciones numéricas

Una vez calculadas las propagaciones de onda en $\delta \mathbf{M}_i^-$ 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 u ondas de choque, incluso en casos que incluyen rarefacciones. Un problema ampliamente descrito de los solucionadores linealizados es la violación de 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 recupera mediante una redefinición adecuada de la solución aproximada usando 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 RP aproximadas es la clave para construir correcciones adecuadas que eviten resultados no físicos. En se mostró que los errores de las aproximaciones integrales realizadas sobre los términos fuente pueden evitarse imponiendo restricciones físicas sobre la solución aproximada. Basta modificar los coeficientes de amplitud de fuente β para recuperar las soluciones correctas cuando sea necesario.

5.3.2 Región de estabilidad

Una vez aplicadas las correcciones numéricas, la región de estabilidad del 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 χ_i en cada celda i , debe considerar el volumen de la celda y la longitud de los bordes compartidos k .

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

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

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

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 HydroBID Flood utiliza pasos de tiempo variables. El paso de tiempo máximo permitido está controlado por el número de Courant-Friederich-Lewy (CFL) definido 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 producen pasos de tiempo menores. El valor teórico máximo de CFL es 1, aunque en algunas ejecuciones puede ser necesario reducirlo.

5.4 Condiciones de contorno abiertas

En HydroBID Flood pueden utilizarse dos tipos principales de condiciones de contorno: contornos abiertos, por los que el flujo puede entrar o salir del área de modelación, y contornos cerrados, que son paredes sólidas sin flujo (véase la figura correspondiente). No hay restricción en el número de contornos de entrada o salida. Esta sección describe las condiciones de contorno abiertas.

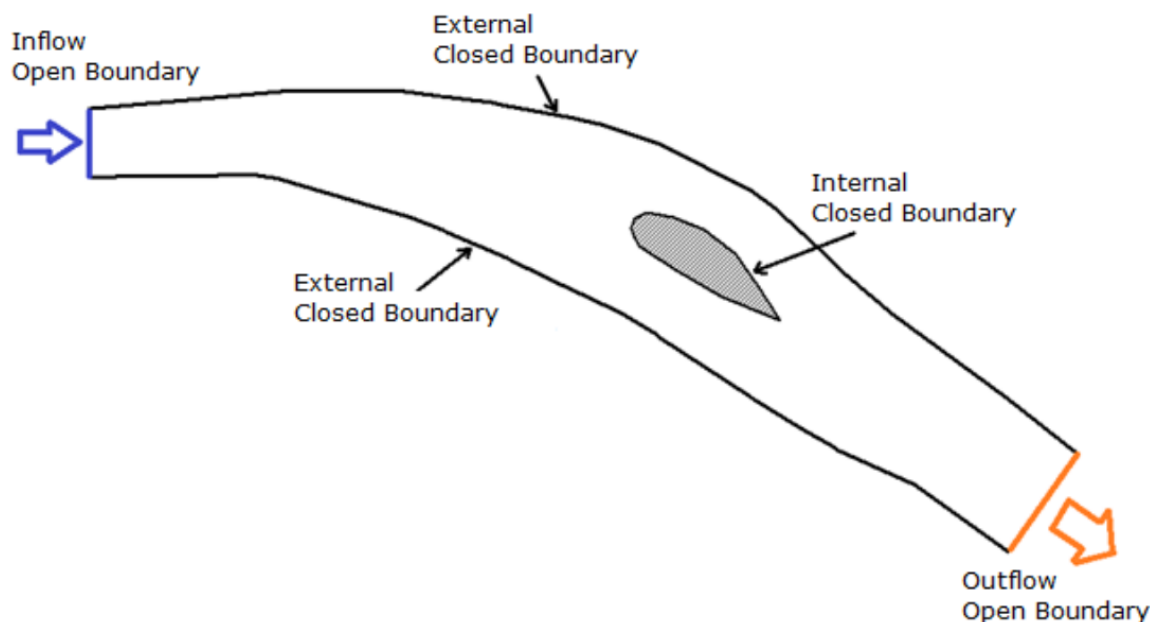


Figura 5.4 – Condiciones de contorno abiertas y cerradas.

HydroBID Flood permite cualquier número de contornos de entrada y salida con distintas combinaciones de condiciones impuestas. El uso correcto de estas condiciones es un componente crítico de una simulación exitosa de HydroBID Flood. La teoría de las ecuaciones de aguas someras indica que, para un flujo bidimensional subcrítico, se requiere proporcionar al menos una condición en los contornos de entrada y otra 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 en los contornos de salida. La tabla siguiente ayuda a determinar qué condiciones utilizar en la mayoría de las aplicaciones.

- **Subcrítico:** Q o velocidad; elevación de la superficie del agua
- **Supercrítico:** Q y elevación de la superficie del agua; ninguna

Nota

Se recomienda tener al menos un contorno en el que se prescriba la superficie del agua o la relación nivel-caudal (por ejemplo, Uniform Flow). Es posible que disponer únicamente del caudal, sin una condición de elevación de la superficie del agua, produzca inestabilidades por incumplir 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 la elevación de la superficie del agua. Debe proporcionarse un archivo de condiciones de contorno asociado.

- **5:** Impone el caudal de agua y la elevación de la superficie del agua. - **6:** Impone la entrada de caudal de agua. - **9:** Impone una tabla de relación nivel-caudal de valor único. - **10:** Condición de entrada o salida libre". El modelo calcula las velocidades y las elevaciones de la superficie del agua. - **11:** Condición de salida libre". El modelo calcula las velocidades y las elevaciones de la

superficie del agua, pero solo se permite el flujo hacia afuera. - **12**: Condición de salida de flujo uniforme. & Impone la elevación de la superficie del agua y fuerza direcciones de velocidad perpendiculares. Debe proporcionarse un archivo de condiciones de contorno asociado.

- **18**: Impone la elevación de la superficie del agua y las concentraciones de sedimentos o contaminantes. También fuerza direcciones de velocidad perpendiculares. Debe proporcionarse un archivo de condiciones de contorno asociado. - **26**: Impone la entrada de caudal de agua y sedimentos. Debe proporcionarse un archivo de condiciones de contorno asociado.

Nota

Si necesita imponer condiciones abiertas en segmentos de contorno adyacentes, hágalo de forma que cada segmento esté separado por un hueco mayor que una celda (véase la figura correspondiente). Establecer dos o más condiciones abiertas sin esta separación provocará una detección incorrecta de los contornos abiertos.

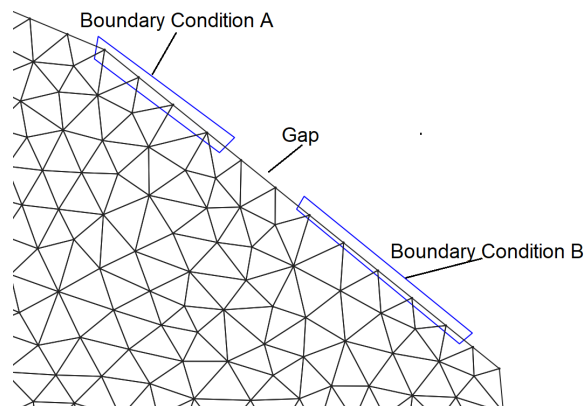


Figura 5.5 – Separación necesaria entre condiciones de contorno abiertas adyacentes.

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 esa variable. 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 en la serie. Al imponer la elevación de la superficie del agua, es importante comprobar que el valor impuesto sea mayor que la elevación del lecho.

5.4.1.1 Conversión del caudal de agua en velocidades (BCTYPE 6)

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

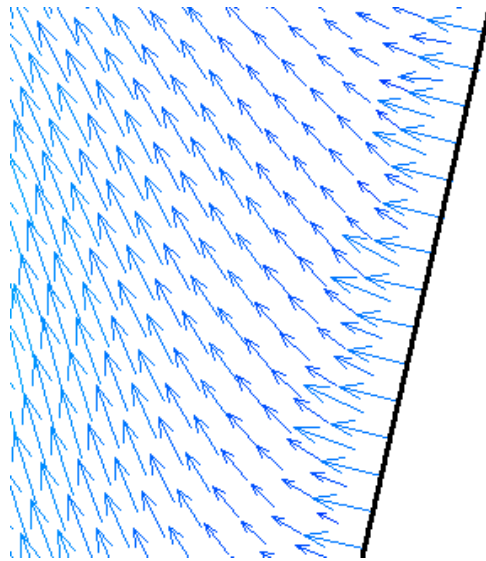


Figura 5.6 – Caudal de entrada de agua impuesto como velocidades (BCTYPE 6).

5.4.2 Tabla de relación nivel-caudal (BCTYPE 9)

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

Como esta condición puede generar reflexiones de onda 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. Lamentablemente, no existe una forma general de seleccionar ese lugar; 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 nivel-caudal está afectada por histéresis. En otras palabras, la curva nivel-caudal forma un bucle, con caudales mayores en la rama ascendente que en la rama de recesión del hidrograma. Esto se debe principalmente a que el gradiente de profundidad en la dirección del flujo cambia de signo a lo largo del hidrograma. En la práctica, esto implica que puede haber dos niveles posibles para el mismo caudal. Esta versión de HydroBID Flood no considera relaciones nivel-caudal en bucle.

5.4.3 Contornos abiertos “libres” (BCTYPE 10 y 11)

En los contornos de condición libre, el modelo calcula las velocidades y las elevaciones de la superficie del agua aplicando las ecuaciones completas 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 ve-

locidades son 0. En situaciones de flujo subcrítico, se recomienda utilizar estas condiciones solo cuando exista al menos otro contorno abierto donde se imponga la elevación de la superficie del agua o la relación nivel-caudal. BCTYPE 10 permite la entrada y salida de agua, mientras que BCTYPE 11 solo permite el flujo hacia afuera de la malla.

5.4.4 Condición de contorno de flujo uniforme (BCTYPE 12)

Para aplicar esta condición de contorno, el usuario proporciona únicamente la pendiente del lecho S_0 . El modelo utilizará S_0 , n de Manning y el caudal para crear una tabla de relación. Después, en cada intervalo de tiempo, el programa impondrá la elevación de la superficie del agua correspondiente al caudal del contorno, interpolando en la tabla. La tabla se calcula cada 0.05 m (0.16 ft), desde la menor elevación del lecho en la sección transversal de salida hasta 50 m (164 ft) por encima de la mayor elevación del lecho de 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 extender su aplicación a problemas realistas con geometrías irregulares en los contornos, debe prestarse especial atención a conservar las propiedades del esquema original. En particular, la conservación se deteriora si los contornos se discretizan de forma descuidada.

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 bordes de contorno k_Γ

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

y por el estado del flujo, definido normalmente 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 autovalores 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 ϕ . La concentración de soluto del agua ϕ es independiente de los autovalores y, por 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 autovalores 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 el estado del flujo es subcrítico tanto en la región de entrada como en la de salida, la información necesaria para la actualización no está completa. Lo mismo ocurre en los bordes de celda que actúan como paredes sólidas que el flujo no puede atravesar. Normalmente, la información adicional proporcionada aguas arriba y aguas abajo son funciones de caudal. En los contornos sólidos se define una función de caudal normal nulo.

En una malla 2D no es fácil decidir si una entrada o salida es supercrítica o subcrítica. 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 otra parte, 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 o velocidad en cada celda según el criterio del profesional. Para tratar estas situaciones, en los contornos abiertos se necesita una conexión adecuada entre los modelos bidimensional y unidimensional. 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 forma 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 presenta más dificultades, porque debe definirse una representación correcta y conservativa del flujo entrante estacionario o no estacionario y no existe una única forma evidente de implementarla. El hidrograma de caudal total de entrada $Q = Q(t)$ es la función habitual en una simulación 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 presentarse distintos casos.

5.4.5.2 Casos sencillos

Cuando la sección transversal de entrada es rectangular (como se muestra en la figura siguiente), es decir, tiene fondo plano y está limitada por paredes verticales, la sección transversal húmeda de entrada es simplemente rectangular.

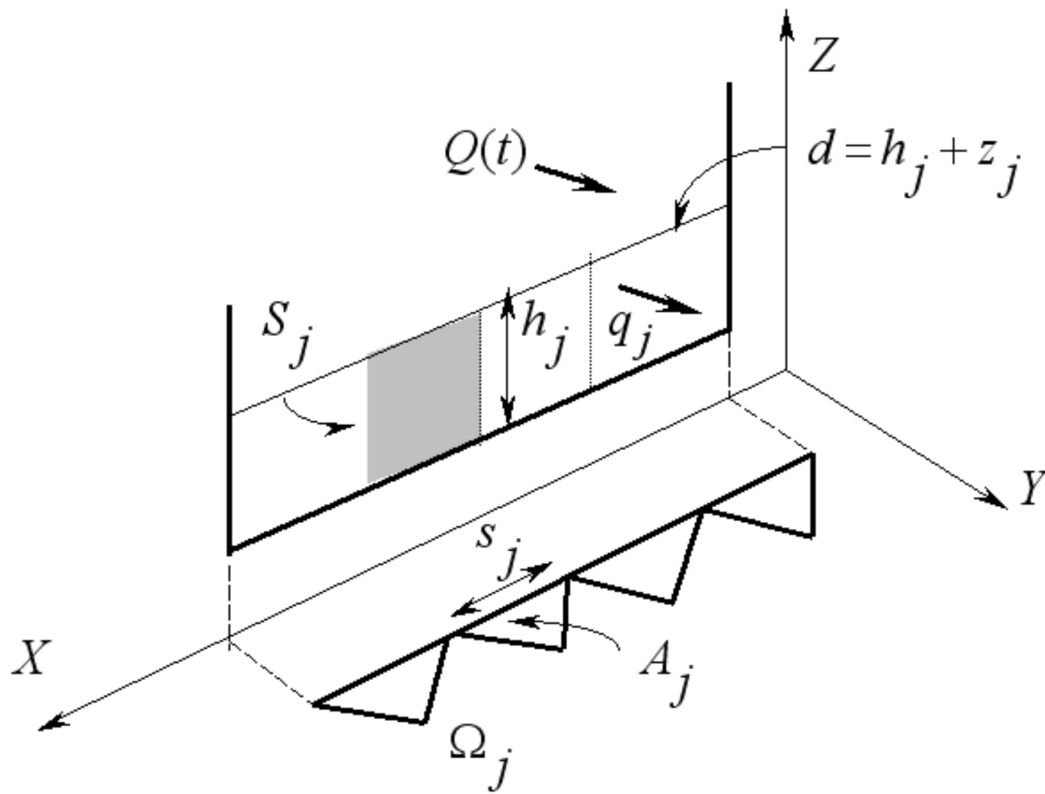


Figura 5.7 – Sección transversal rectangular de entrada.

El caudal total de entrada en el tiempo t , $Q_I(t)$, puede distribuirse a lo largo de la sección de entrada mediante 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 sencillo, q_I es uniforme a lo largo del contorno de entrada y también lo es el módulo resultante de la velocidad, $w = q_I/h$, con $w = (u^2 + v^2)^{1/2}$. Debe observarse que la dirección del caudal entrante no tiene por qué coincidir con 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 al cambiar el nivel del agua (contorno de secado/mojado), y también cambia el número de celdas de contorno involucradas (como se muestra en la figura siguiente).

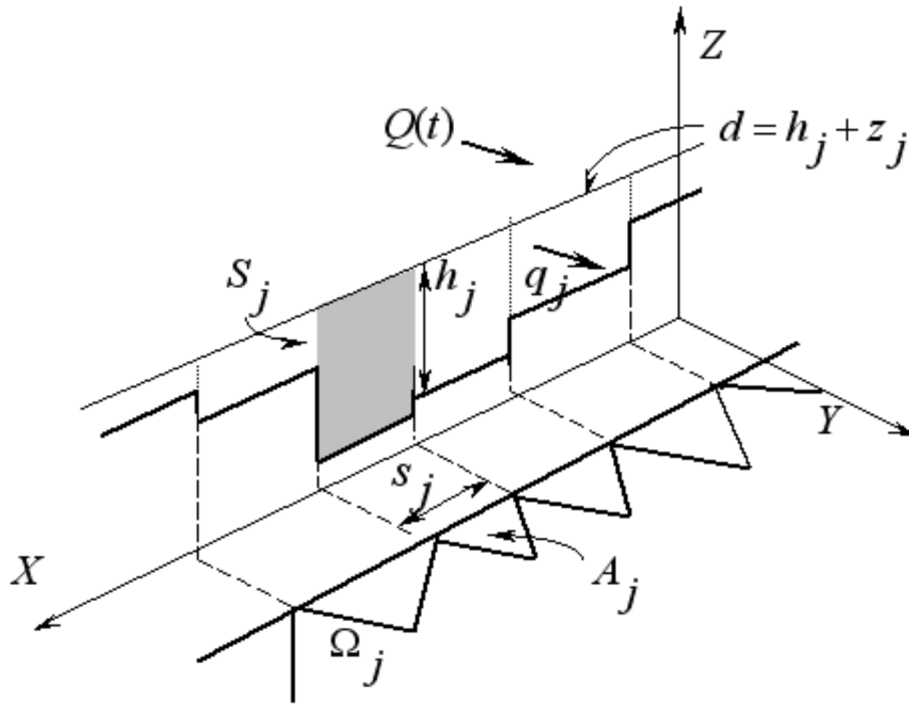


Figura 5.8 – Sección transversal irregular de entrada.

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

Para obtener 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 de cada celda de contorno j es variable y se define en función tanto del área total de la sección transversal, S_T , como del área transversal individual de la celda, S_j , de la siguiente manera:

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

Por otra parte, la actualización de los valores de profundidad del agua en las celdas de entrada proporcionada por el esquema numérico conduce, en general, a un conjunto de nuevas profundidades h_j^{n+1} , asociadas a distintos niveles de superficie del agua d_j , con $d_j = h_j + z_j$, como se muestra en la figura siguiente.

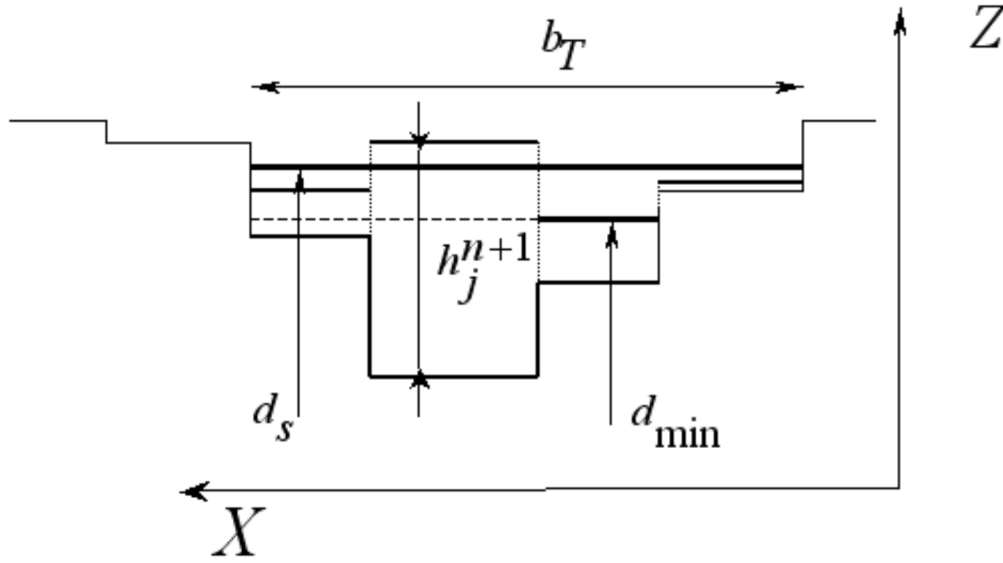


Figura 5.9 – Evaluación de d_{min} .

Para nuestros fines, en esa región se requiere un nivel horizontal de la superficie del agua que ayude a traducir entre los puntos de vista 2D y 1D en el contorno abierto. El valor de ese nivel uniforme de la sección 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 el volumen de agua V_S almacenado en la sección de entrada por encima de d_{min} se evalúa como

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

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

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

Estos valores se utilizan para redistribuir el volumen en la sección de entrada, manteniendo constante el ancho de la sección mojada b_T . Como muestra la Figura 3, el nuevo nivel uniforme de agua en la sección, d_s , viene dado por:

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

Además de ayudar a decidir el régimen de flujo en el contorno, las modificaciones descritas facilitan el tratamiento de las condiciones de entrada supercríticas. Al modelar un flujo fluvial no estacionario pueden aparecer picos altos en el hidrograma. Si esos picos no se tratan correctamente desde el punto de vista numérico, pueden producir estados supercríticos locales e irreales en el contorno de entrada.

En el 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 y, por lo general, no hay datos sobre la distribución del nivel de agua ni sobre la dirección del caudal en el contorno de entrada.

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

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

consiste 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 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 superficie del agua para la sección de entrada, d^* , también mayor que d_s , como se muestra en la figura siguiente. El incremento asociado del volumen de agua se equilibra reduciendo el caudal impuesto $Q_I(t)$ en ese paso de tiempo.

En ocasiones se conocen ambas condiciones, $Q_I(t)$ y $d(t)$, en entradas supercríticas. En esos casos basta con imponer ambos datos en el contorno de entrada. Sin embargo, debido al método discreto de integración temporal utilizado, este procedimiento no cumple el criterio de conservación de la masa. Para garantizar 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 de entrada, $d(t)$, y adaptar el caudal discreto de entrada para garantizar la conservación del 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 y produce un balance de masa correcto.

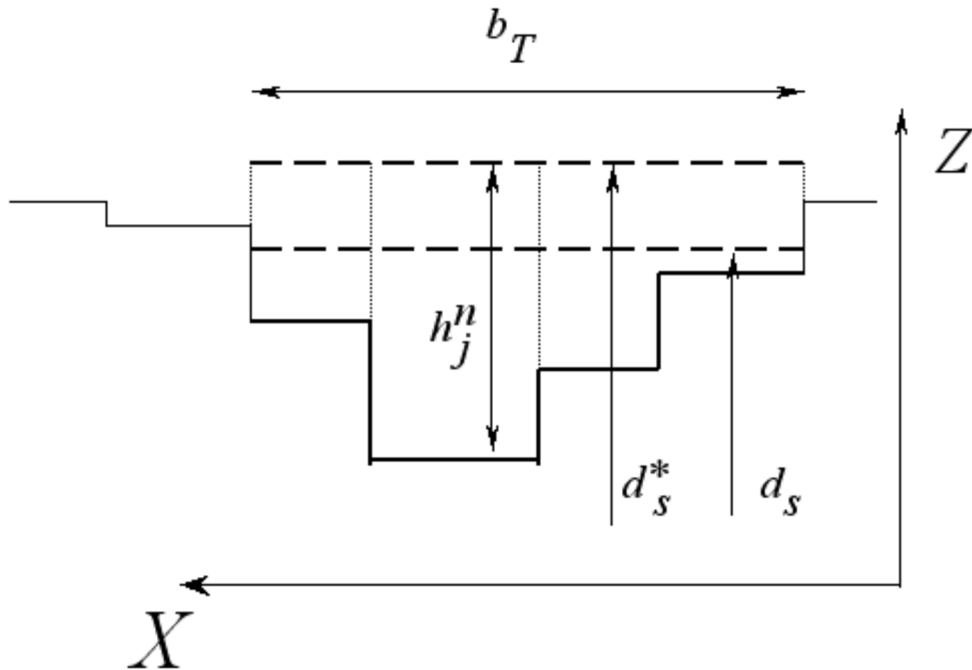


Figura 5.10 – Nuevo nivel de agua para la sección de entrada.

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 mediante y se impone en la celda de contorno. Además, el nivel de agua se calcula como resultado de las contribuciones de los otros bordes de la celda en al actualizar los valores conservados de la celda de contorno en el nivel temporal $n + 1$, 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 HydroBID Flood se realiza un barrido preliminar sobre las celdas mojadas del contorno de salida para evaluar el número de Froude de cada celda. Si se encuentra una celda supercrítica, todo el flujo de la sección de salida se considera supercrítico y no es necesario imponer una condición externa. De lo contrario, todas las celdas están en estado subcrítico y reciben un tratamiento análogo al descrito anteriormente para el contorno de entrada. Como antes, se genera un nivel uniforme de agua en la sección y se establece una distribución de velocidades cuando la condición de contorno que debe imponerse es una curva de relación de caudal.

5.4.6 Contornos cerrados

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

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

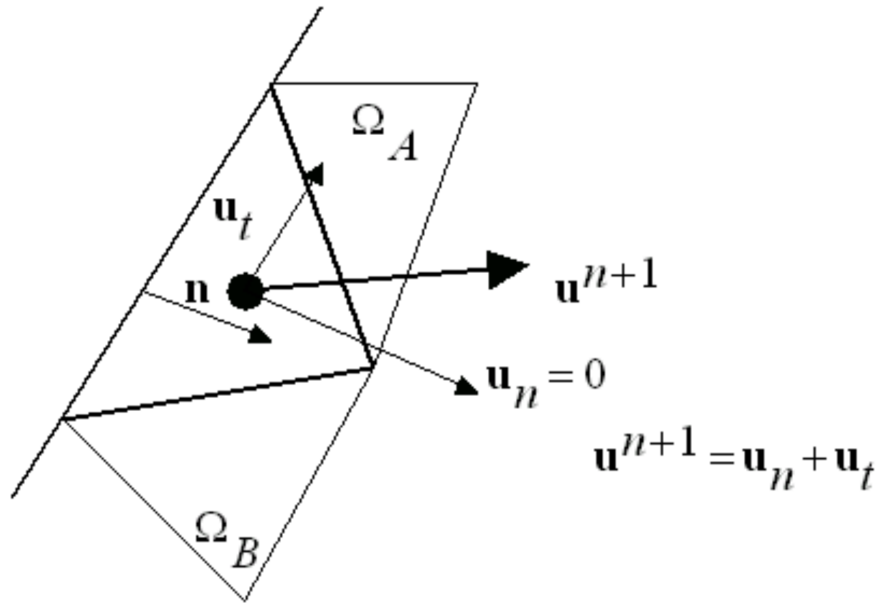


Figura 5.11 – Condición de pared sólida.

5.5 Modelación de celdas secas/mojadas

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

En HydroBID Flood, la malla de celdas triangulares puede cubrir áreas secas y mojadas, y el modelo tratará estas condiciones mediante dos algoritmos distintos según la clasificación siguiente de las celdas.

5.5.1 Definiciones de celdas según condiciones secas y mojadas

Una celda se considera seca si su profundidad de agua es menor que 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. En caso contrario, el borde de celda siempre contribuye a actualizar las variables de ambos lados. La denominada situación mojada/seca se produce en un borde de celda cuando se cumplen todas las condiciones siguientes:

- Una de las celdas vecinas está mojada y la otra seca.
- El nivel de 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 se describe detalladamente en.

El algoritmo de secado y mojado de HydroBID Flood 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 según 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 internos de las celdas se clasifican como activos o inactivos según la definición.
4. Las contribuciones de los bordes en situaciones mojadas/secas se calculan suponiendo que el borde es un contorno sólido y las velocidades de ambos lados se establecen en cero.
5. Las contribuciones del resto de los bordes se calculan conforme al 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.

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, lo que permite utilizar la condición CFL clásica.

5.6 Conservación del volumen

La conservación del volumen o balance volumétrico 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 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 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

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

Normalmente se expresa 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

La 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, las variaciones de forma y tamaño de la sección transversal del canal, las obstrucciones y la sinuosidad del río (Ven Te Chow, 1959). Por tanto, deben ajustarse las estimaciones de n de Manning aplicables a modelos 1D, 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 término. Varios investigadores han encontrado, en aplicaciones prácticas de modelos 2D, que los valores de n necesarios 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 ello, 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. Aunque se investiga desde la década de 1950 y se utiliza ampliamente en la práctica de la ingeniería, la modelación del transporte de sedimentos sigue siendo uno de los temas más activos de la investigación hidráulica. Si bien la modelación numérica de flujos de superficie libre con transporte suspendido y de fondo sobre un lecho erosionable implica, en situaciones realistas, flujo transitorio y contornos móviles, los métodos convencionales y pioneros para realizar simulaciones morfodinámicas en zonas costeras y ríos desacoplan los componentes hidrodinámicos de los de erosión y deposición. Ignorar los efectos hidrodinámicos no estacionarios significa que las escalas temporales de los cambios morfodinámicos son menores que las hidrodinámicas. Bajo esta hipótesis, solo puede modelarse razonablemente un proceso casi estacionario de transporte de fondo lentamente variable, por lo que se excluyen los flujos que cambian rápidamente y contienen ondas de choque o discontinuidades. Por esta razón, HydroBID Flood permite simular con precisión desde eventos de evolución lenta hasta cambios abruptos del lecho del río.

6.1 Ecuaciones del modelo

La formulación pertinente del modelo se deriva de las ecuaciones promediadas en profundidad que expresan la conservación del volumen de la mezcla de agua y sedimentos, la conservación del volumen de sedimentos y la conservación de la cantidad de movimiento de la mezcla de agua y sedimentos. Los sedimentos pueden transportarse como carga de fondo o carga suspendida. Este sistema de ecuaciones diferenciales parciales se formula aquí en forma acoplada:

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

donde

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

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, (u, v) son las componentes promediadas en profundidad del vector de velocidad $\mathbf{u}$ a lo largo de las coordenadas x e y , respectivamente, y ϕ_p , con $p = 1, \dots, N_p$, representa la concentración volumétrica escalar promediada en profundidad de las

N_p 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 en el que pueden coexistir distintas fracciones de sedimento.

Por otra parte, los flujos vienen dados por

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

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

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

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

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

$$\frac{p_{b,x}}{\rho_w} = -gh \frac{\partial z}{\partial x} = gh S_{0x},$$

$$\frac{p_{b,y}}{\rho_w} = -gh \frac{\partial z}{\partial y} = gh S_{0y}$$

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

$$\frac{\tau_{b,x}}{\rho_w} = gh S_{fx} \quad \text{with:} \quad S_{fx} = \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}$$

$$\frac{\tau_{b,y}}{\rho_w} = gh S_{fy} \quad \text{with:} \quad S_{fy} = \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}$$

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

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

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

6.2 Leyes de transporte de sedimentos

Dos formas diferentes de transporte de sedimentos gobiernan la dinámica del lecho móvil considerado en HydroBID Flood: la carga suspendida y la carga de fondo. Ambas pueden coexistir o una

de ellas puede ser dominante.

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

6.2.1 Transporte de carga de fondo

Cuando la carga de fondo es el mecanismo dominante de transporte de sedimentos y la influencia de la carga suspendida es despreciable, el sistema se reduce a la forma siguiente

Conservación de la masa del agua

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

Conservación de la cantidad de movimiento 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 de la cantidad de movimiento 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 de 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 de carga de fondo, q_{bp} , para la clase de tamaño de sedimento p 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, ρ_{sp} es la densidad del sedimento y d_{50p} es el diámetro mediano de la clase de tamaño de sedimento p .

El parámetro adimensional Φ_p para la clase de tamaño de sedimento p se calcula mediante una ley empírica. La tabla reúne las fórmulas implementadas en la presente versión de HydroBID Flood. Para mayor claridad, se ha omitido el subíndice p en la formulación empírica del transporte de fondo, donde d_{90} , d_{50} y d_{30} son los diámetros de grano para los que, respectivamente, el 90%, 50% y 30% del peso de una muestra no uniforme es más fino; θ es el esfuerzo de Shields adimensional, θ_c es el valor crítico del esfuerzo de Shields para el inicio del movimiento y θ_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 n de Manning 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}, θ_c, ρ_s
- **Ashida Michiue (1972):** $17 (\theta - \theta_c) (\sqrt{\theta} - \sqrt{\theta_c})$; d_{50}, θ_c, ρ_s
- **Engelund and Fredsøe (1976):** $18.74 (\theta - \theta_c) (\sqrt{\theta} - 0.7\sqrt{\theta_c})$; d_{50}, θ_c, ρ_s
- **Fernandez-Luque and van Beek (1976):** $5.7 (\theta - \theta_c)^{3/2}$; d_{50}, θ_c, ρ_s
- **Parker fit to Einstein (1979):** $11.2 (1 - \theta/\theta_c)^{9/2}$; d_{50}, θ_c, ρ_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}, θ_c, ρ_s
- **Wong:** $4.93 (\theta - \theta_c)^{1.6}$; d_{50}, θ_c, ρ_s
- **Wong:** $3.97 (\theta - \theta_c)^{3/2}$; d_{50}, θ_c, ρ_s
- **Camenen-Larson:** $12\theta^{3/2} \exp(-4.5\theta_c/\theta)$; d_{50}, θ_c, ρ_s

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

6.2.2 Transporte de carga suspendida

Cuando la carga suspendida desempeña el papel principal en la movilización del lecho, el término de carga de fondo puede omitirse y el sistema adopta la forma siguiente

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 de la cantidad de movimiento 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 de la cantidad de movimiento 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 suspendido para la clase de tamaño p

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

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

Cabe señalar que las leyes de intercambio de sedimentos se han derivado para una sola partícula que cae en agua clara y en situaciones estacionarias. Por tanto, al considerar una situación transitoria con 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 respecto al agua clara. Este efecto, conocido como sedimentación impedida, se incluye en las ecuaciones calculando la velocidad de sedimentación real ω_{mp} para cada clase de tamaño de sedimento en la mezcla de flujo:

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

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

- **Rubey (1933):** $\omega_s = F \sqrt{\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) g d_{50}}$; Si $d_{50} > 1$ mm, $F = 0.79$; de lo contrario, $F = \left(\frac{2}{3} + \frac{36\nu^2}{g d_{50}^3 (\rho_s/\rho_w - 1)} \right)^{0.5} - \left(\frac{36\nu^2}{g d_{50}^3 (\rho_s/\rho_w - 1)} \right)^{0.5}$
- **Zhang (1961):** $\omega_s = \sqrt{\left(13.95 \frac{\nu}{d_{50}} \right)^2 + 1.09 \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) g d_{50}} - 13.95 \frac{\nu}{d_{50}}$; Válida para un intervalo amplio de d_{50}
- **Zanke (1977):** $\omega_s = 10 \frac{\nu}{d_{50}} \left(\left(1 + 0.01 \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) \frac{g d_{50}^3}{\nu^2} \right)^{0.5} - 1 \right)$

- **Van Rijn (1984):** $\omega_s = \left(\frac{1}{18} \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} g \frac{d_s^2}{\nu} \right); d_{50} < 0.1 \text{ mm}$
- **Raudkivi (1990):** $\omega_s = \left(\frac{(2/3)(\rho_s/\rho_w - 1)gd_{50}^2}{\nu} - 32 \right) \frac{\nu}{1.2d_{50}}; d_{50} > 1 \text{ mm}$
- **Julien (1995):** $\omega_s = \left(\frac{(2/3)(\rho_s/\rho_w - 1)gd_{50}^2}{\nu} - 24 \right) \frac{\nu}{1.5d_{50}}$
- **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):** $\omega_s = (C_1 + C_2 S_*) \sqrt{(s-1)gd_{50}}; C_1, C_2 \text{ y } S_* \text{ como en Jiménez-Madsen}$
- **Wu-Wang(2006):** $\omega_s = \frac{M\nu}{Nd_s} \left(\sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{4N}{3M^2} D_*^3 \right)^{1/n}} - 0.5 \right)^n; M, N \text{ y } n \text{ como en Wu, y } D_* = d_{50} ((\rho_s/\rho_w - 1)g/\nu^2)^{1/3}$

6.2.3 Fórmulas de capacidad de carga suspendida

Como se mencionó anteriormente, la concentración de equilibrio ϕ_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 de flujo y q_{sp} es la tasa de transporte sólido suspendido de capacidad, que se estima mediante 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 de flujo y estableció la fórmula siguiente:

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

donde τ_b es el esfuerzo cortante generado en el fondo por la rugosidad del lecho, que se calcula mediante.

- Van Rijn (1984,) propuso calcular la carga suspendida de equilibrio integrando el flujo de sedimentos dentro de la capa donde la suspensión desempeña un papel clave, es decir, entre los términos h_s y h :

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

donde q_s^* se expresa como volumen por unidad de tiempo y los términos ϕ_m y h_s se definen 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 θ es el esfuerzo de Shields adimensional calculado mediante , θ_c es el parámetro crítico de Shields, d_{50} es el diámetro mediano del sedimento, s es la relación de densidades y ν 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 de fondo y el transporte suspendido. Esta versión de HydroBID Flood 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 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 de la tasa de carga de fondo y del término de intercambio suspendido se estima como

$$\text{Bedload fraction: } f_{bp} = F_{sp}$$

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

- **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 de fondo, la carga suspendida del flujo y el sustrato subyacente. Por tanto, la composición de esta capa activa evoluciona según la ecuación

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

donde η_a es el espesor de la capa activa y f_{ap} la fracción de la clase de sedimento p en la capa activa, que cumple $\sum_{p=1}^{N_p} f_{ap} = 1$, y z_e representa la interfaz entre la capa activa y el sustrato subyacente. Aquí el espesor de la capa activa se estima como 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 global del nivel del lecho $\partial z / \partial t$. El término f_{ep} representa la fracción de la clase de sedimento p que se intercambia a través de la interfaz z_e , cumpliendo $\sum_{p=1}^{N_p} f_{ep} = 1$, y se estima 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 β_a es un parámetro de ponderación de ajuste fijado en 0.6 en HydroBID Flood y ϕ_p / ϕ_0 representa la concentración relativa de la clase de sedimento p en la carga suspendida.

La composición de la tasa de carga de fondo y del término de intercambio suspendido se estima como

Bedload fraction: $f_{bp} = f_{ap}$

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

6.3 Condiciones de contorno para el modelo de sedimentos suspendidos

Al utilizar el modelo de sedimentos suspendidos, 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 la serie temporal de cada entrada. Por ejemplo, si selecciona dos fracciones de sedimento y BCType=6, con la entrada definida 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). Después hay dos columnas que deben contener la concentración volumétrica de sedimento ϕ_p para cada fracción.

6.4 Condiciones de contorno para el modelo de carga de fondo

6.4.1 Proporcionar únicamente la entrada de caudal de agua

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

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

3	
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 carga de fondo, el usuario puede imponer el caudal de agua y la entrada volumétrica de carga de fondo. En este caso, debe proporcionarse la entrada de sedimentos para cada fracción en todas las entradas. Estos datos deben incluirse en el mismo archivo que establece la serie temporal de cada entrada. Por ejemplo, si selecciona 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). Después hay dos columnas con la entrada volumétrica de carga de fondo para cada clase de sedimento.

El caudal de carga de fondo debe expresarse en m³/s al utilizar unidades métricas y en ft³/s al utilizar unidades inglesas.

6.5 Condiciones de contorno para el modelo combinado de carga de fondo y carga suspendida

Al utilizar conjuntamente los modelos de carga de fondo y carga suspendida, el usuario debe imponer la concentración de sedimentos suspendidos ϕ_p y la entrada volumétrica de carga de fondo para cada fracción en todas las entradas. Estos datos deben incluirse en el mismo archivo que establece la serie temporal de cada entrada. Por ejemplo, si selecciona dos clases de sedimentos 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 de fondo para cada clase. Finalmente, la quinta y sexta columnas representan la concentración volumétrica de sedimento ϕ_p de cada clase.

El caudal de carga de fondo debe expresarse en m³/s al utilizar unidades métricas y en ft³/s al utilizar unidades inglesas.

6.7 Introducción de datos del modelo de transporte de sedimentos en el DIP

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

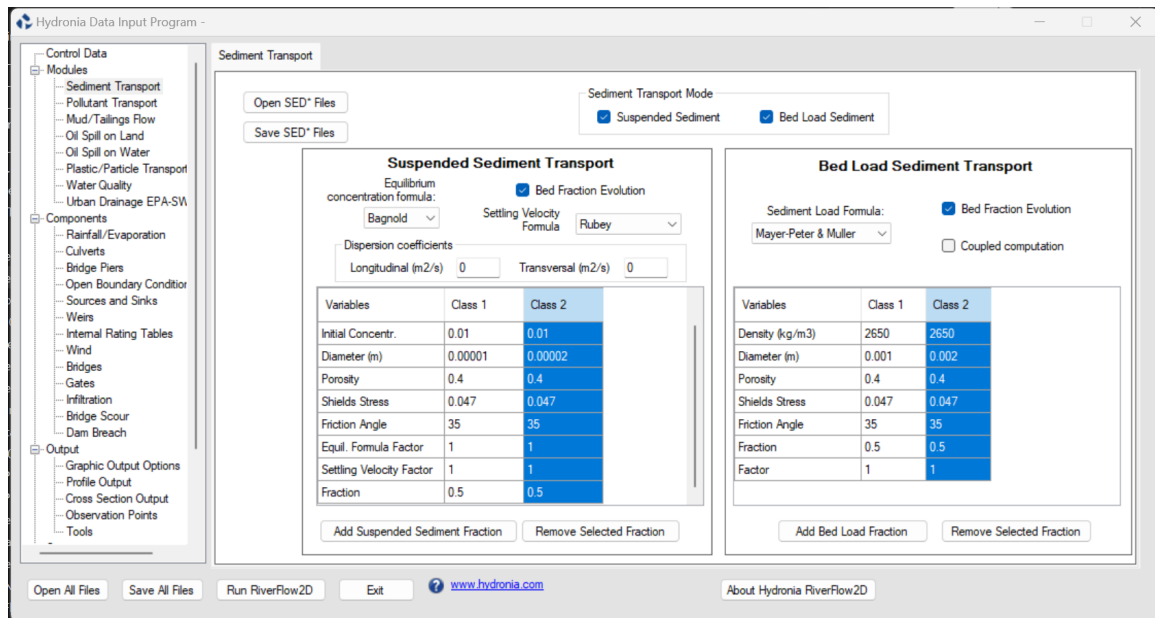


Figura 6.2 – Panel Sediment Transport del DIP.

6.8 Supuestos y consideraciones del modelo de transporte de sedimentos

Los principales supuestos de la versión actual de HydroBID Flood son:

- Al utilizar la opción de carga 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 armorización 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 en 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

Como las formulaciones del caudal de carga de fondo, el caudal de carga suspendida y la velocidad de sedimentación se basan en leyes deterministas respaldadas por experimentación, para cada una se han considerado factores de ajuste. 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 presenta un comportamiento no newtoniano compresible, incluidos mecanismos de detención y reanudación. Las propiedades globales de los fluidos corresponden a una mezcla hiperconcentrada de agua y sedimentos, con gradientes importantes de concentración de la fase sólida. La resistencia global del flujo de lodo o relaves depende de la importancia relativa de los esfuerzos cortantes originados por distintas fuentes que, además del esfuerzo cortante turbulento en el contorno del cauce, 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 MT de HydroBID Flood 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, cuya concentración volumétrica de sedimentos no cambia con el tiempo ni 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 varias clases granulométricas. 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 o deposición de material desde o 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, desde agua clara hasta mezclas hiperconcentradas de sedimentos.

El modelo *CP-FB* supone lo siguiente:

- El flujo está confinado a una capa delgada en comparación con la escala horizontal de interés.
- El flujo está gobernado por la ecuación , cuyos términos de resistencia se evalúan como se explica a continuación.
- La mezcla de agua y sedimentos se describe mediante el enfoque continuo, sin distinguir entre las fases líquida y sólida.
- El lecho del río no se erosiona; por tanto, no es posible el arrastre ni la deposición de material.

- Se supone que el fluido es una mezcla monofásica homogénea de agua y sedimento, con propiedades constantes, como 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 el flujo de lodo o relaves se basa en el de y supone lo siguiente:

- Enfoque de flujo poco profundo: el flujo está confinado a una capa delgada en comparación con las escalas horizontales de interés, lo que conduce a suponer una presión global hidrostática.
- Flujo multicomponente: la mezcla de agua y partículas de sedimento se describe mediante el enfoque continuo y se supone la misma velocidad para las fases líquida y sólida.
- Las distintas clases granulométricas 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 tangente 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 lodo o relaves sobre un lecho erosionable consta de $3 + N + 1$ ecuaciones diferenciales parciales, incluidas las ecuaciones promediadas en profundidad de conservación de masa y cantidad de movimiento de la mezcla de agua y sedimentos:

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

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

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

así como la ecuación de conservación de masa de la capa del lecho, considerando N clases granulométricas de sedimento:

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

donde ρ es la densidad global de la mezcla, h es la profundidad del flujo, (u, v) son las componentes del vector de velocidad del flujo promediado en profundidad $\mathbf{u}$ a lo largo de las coordenadas

x e y , respectivamente, ϕ_p representa la concentración volumétrica promediada en profundidad de la p -ésima clase granulométrica de sedimento, y N es el número de clases granulométricas transportadas. Las componentes (τ_{bx}, τ_{by}) del vector de resistencia basal τ_b son las componentes de dicho vector a lo largo de las coordenadas x e y , respectivamente. Además, z_b es la elevación del lecho, ξ_p es la porosidad de deposición de la p -ésima clase de sedimento y $\rho_{b,p}$ es la densidad global asociada en la capa del lecho; D_p y E_p son, respectivamente, las tasas específicas de intercambio por deposición y arrastre de cada tamaño; y $g_\psi = g \cos^2 \psi$ es la proyección de la gravedad normal al lecho, donde g es la aceleración gravitacional y $\cos \psi$ es el coseno director de la normal al lecho respecto del eje vertical.

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

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

donde ϕ^X es la concentración sólida boyante, ρ_w es la densidad del agua intersticial y $\rho_{s,p}$ es la densidad de las partículas de sedimento de cada clase granulométrica.

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 cantidad de movimiento asociado a la variación de la fuerza de presión sobre el fondo; $\mathbf{S}_\tau(\mathbf{U})$ es la disipación de cantidad de movimiento debida al esfuerzo cortante de contorno 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:

$$\mathbf{U} = \begin{pmatrix} rh, & rhu, & rhv, & h\phi^X, & z_b \end{pmatrix}^T$$

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

$$\mathbf{S}_b(\mathbf{U}) = \begin{pmatrix} 0 \\ -g_\psi rh \frac{\partial z_b}{\partial x} \\ -g_\psi rh \frac{\partial z_b}{\partial y} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \mathbf{S}_\tau(\mathbf{U}) = \begin{pmatrix} 0 \\ -\tau_{bx}/\rho_w \\ -\tau_{by}/\rho_w \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

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

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

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

siendo τ_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 globales netos de intercambio para las ecuaciones de conservación de masa de la mezcla, la fase sólida y la capa del lecho (N_b^r , N_b^x y N_b^ξ , respectivamente) pueden calcularse como:

$$\begin{aligned} N_b^r &= - \sum_{p=1}^N \frac{\rho_{b,p}}{\rho_w} \frac{D_p - E_p}{1 - \xi_p} \\ N_b^x &= - \sum_{p=1}^N \frac{\rho_{s,p} - \rho_w}{\rho_w} (D_p - E_p) \\ N_b^\xi &= \sum_{p=1}^N \frac{D_p - E_p}{1 - \xi_p} \end{aligned}$$

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 deposición de la p -ésima clase granulométrica de sedimento.

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

$$\begin{aligned} D_p &= \alpha_{D,p} \omega_{s,p} (1 - \phi_0)^{m_0} \phi_p \\ E_p &= \alpha_{E,p} F_{b,p} \omega_{s,p} \phi_p^* \end{aligned}$$

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; $\omega_{s,p}$ es la velocidad de sedimentación correspondiente al tamaño de las partículas de sedimento en agua clara; $\phi_0 = \sum_{p=1}^N \phi_p$ es la concentración total de sedimentos en la columna de flujo; $m_0 \approx 4$ es un parámetro semiempírico que representa el efecto de obstaculización sobre la velocidad de sedimentación debido a concentraciones elevadas de sedimentos; y $F_{b,p}$ es la fracción de la p -ésima clase granulométrica en la capa del lecho, que satisface $\sum_{p=1}^N F_{b,p} = 1$. La tasa de arrastre se pondera en función de la fracción de cada clase de sedimento en la capa del lecho.

La concentración suspendida de equilibrio ϕ_p^* se estima mediante distintas relaciones semiempíricas. Se han implementado las formulaciones de Bagnold, Van Rijn y Zhang-Xie. Además, está

disponible la formulación de Wu, que considera 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 sólido de equilibrio, por volumen, por unidad de tiempo y de ancho, para la p -ésima clase granulométrica; $d_{s,p}$ es el diámetro medio correspondiente; β_p es un factor de calibración (Equilibrium Formula Factor); n y $n_p = d_{s,p}^{1/6} / 21.1$ son, respectivamente, los parámetros de rugosidad de Manning global y específico del tamaño; τ_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 multigranulares

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

Cuando el material se deposita en depósitos erosionables de material del lecho η o se arrastra desde ellos, la conservación de masa de cada clase de sedimento se garantiza resolviendo la ecuación:

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

siendo η 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 $A_{b,p}$ son, respectivamente, el flujo neto de intercambio de una sola clase y el área expuesta para la p -ésima clase de sedimento en el depósito de material del lecho, calculados de la siguiente manera:

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

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

7.2.2 Solución numérica por volúmenes finitos para flujos compresibles

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

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

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

siendo $\Delta t = t^{n+1} - t^n$ el paso de tiempo, A_i el área de la celda, l_k la longitud del lado k -ésimo de la celda, $\mathcal{F}_k^\downarrow$ el flujo numérico normal al lado k -ésimo 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 tanto, el conjunto de variables conservadas proyectadas para la celda del lado k -ésimo se define como $\mathbf{\hat{U}} = \mathbf{R}_k \mathbf{U}$, donde $\mathbf{R}_k$ y $\mathbf{R}_k^{-1}$ son, respectivamente, la matriz de rotación y su inversa.

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

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

incorporando las contribuciones de borde integradas de los términos fuente de cantidad de movimiento debidos a la presión del lecho y a la resistencia basal, $\mathbf{\hat{S}}_b^\vee$ y $\mathbf{\hat{S}}_\tau^\vee$, respectivamente, en los flujos numéricos convectivos homogéneos $\mathbf{F}(\mathbf{\hat{U}})_k$ y garantizando la propiedad de balance exacto para estados estacionarios.

El flujo numérico en los lados de las celdas se calcula aguas arriba mediante un esquema de Roe aumentado, completamente 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 sedimentos, 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:

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

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

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

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

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

7.3 Formulación reológica y resistencia basal no newtoniana

En y se encuentra 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 τ_b en flujos de relaves y de lodo o detritos. La formulación seleccionada para modelar el estado de esfuerzos a lo largo de la columna de flujo incorpora en las ecuaciones de cantidad de movimiento el comportamiento reológico del fluido compresible complejo en movimiento. Esta reología compleja está determinada por distintos tipos de esfuerzos cortantes: el esfuerzo turbulento o dispersivo τ_t y el esfuerzo viscoso τ_μ en la fase líquida, el esfuerzo de fluencia cohesivo τ_y o el esfuerzo de fricción de tipo Coulomb τ_f entre los granos sólidos. Todos estos tipos de esfuerzo cortante actúan simultáneamente a lo largo de la columna de mezcla y, por tanto, contribuyen al módulo de la resistencia del flujo en la superficie del lecho τ_b , que debe expresarse como función de la profundidad de flujo h , la densidad promediada en profundidad ρ y el módulo de la velocidad $|\mathbf{u}| = \sqrt{u^2 + v^2}$.

La formulación reológica de HydroBID Flood MT considera los siguientes comportamientos de fluido complejo:

Flujos turbulentos newtonianos: Los flujos superficiales de agua o de mezclas granulares con bajas concentraciones sólidas suelen presentar un comportamiento newtoniano y, la mayoría de las veces, ocurren en régimen turbulento. Las formulaciones turbulentas promediadas en profundidad se expresan como una relación cuadrática con 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 llamada modelo de Bingham, puede utilizarse para modelar flujos laminares de materiales cohesivos en los que 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 τ_y [Pa] la resistencia de fluencia cohesiva, μ_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 de fluencia cohesiva que se opone a la deformación. Los valores típicos del esfuerzo de fluencia τ_y varían aproximadamente entre 10 y 400 Pa .

Suponiendo un esfuerzo cortante simple, la estructura del flujo consta de las dos regiones separadas que se muestran en la figura. Para $z_0 < z \leq z_s$, $\tau(z)$ es menor que la resistencia de fluencia τ_y 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 τ_y y el material está sometido a cizalladura.

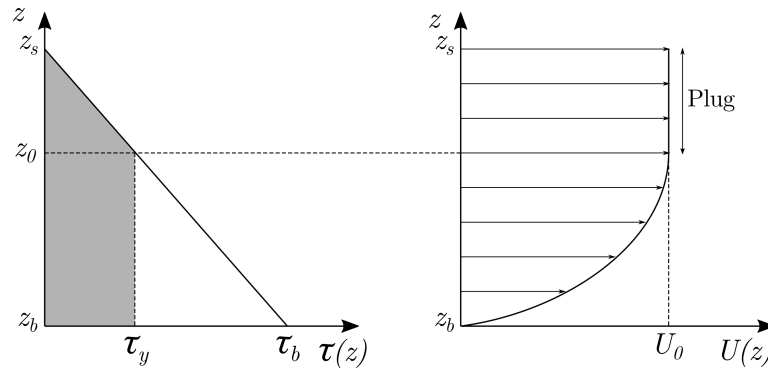


Figura 7.1 – Distribución de velocidad y esfuerzo para el modelo viscoplástico cohesivo.

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 τ_b , la resistencia de fluencia τ_y y el esfuerzo viscoso lineal:

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

El modelo de Bingham completo se resuelve analíticamente para obtener el módulo de la resistencia basal τ_b . Cuando la razón de esfuerzos τ_y/τ_b es menor que 1/2, la relación de Bingham puede simplificarse como

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

Flujos de adelgazamiento o espesamiento por cizalladura: El modelo viscoplástico no lineal con un esfuerzo de fluencia de tipo Coulomb puede utilizarse para modelar flujos de mezclas líquido-sólido en los que 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 $\sigma_e(z)$ representa el esfuerzo normal efectivo a lo largo de la columna de flujo, m es el índice de comportamiento del fluido y $\mu_P [Pa \cdot s^m]$ es un parámetro de tipo viscosidad plástica; U es el módulo de la velocidad instantánea a lo largo de la columna de flujo.

δ_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 este se ha detenido. Por lo general, sus 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 $\sigma_e(z)$ considera 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 una componente hidrostática $p_h(z) = \rho_w g_\psi (z_s - z)$ más una presión intersticial dinámica $p_e(z)$, también conocida como exceso de presión intersticial.

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

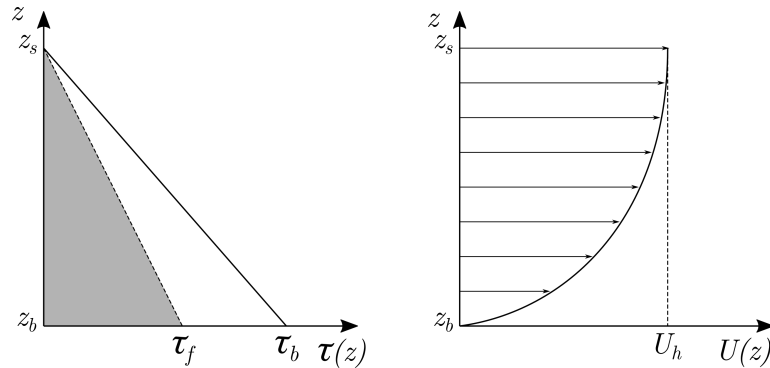


Figura 7.2 – Distribución de velocidad y esfuerzo para el modelo viscoplástico no lineal de fricción.

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 τ_b :

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

siendo τ_f el esfuerzo de fluencia por fricción en la superficie basal, estimado como:

$$\tau_f = (\rho g_\psi h - P_b) \tan \delta_f$$

donde P_b es la presión del fluido intersticial en la superficie basal.

La presión intersticial basal P_b se calcula como:

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

siendo γ_{pp} un coeficiente que representa la presión hidrostática más dinámica en el fluido intersticial, definido de la siguiente manera:

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

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 γ_{pp} aumenta a medida que disminuye ρ promediada en profundidad; es decir, cuanto menor es la concentración sólida del flujo, mayor es la presión intersticial basal y, por tanto, menor es la resistencia de fluencia por fricción τ_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 del fluido. Este intervalo 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 de la columna de fluido, las características no newtonianas del flujo se atenúan hasta recuperar el comportamiento del agua clara. Para concentraciones sólidas globales inferiores a 0.15, el modelo VP-MB supone el modelo newtoniano turbulento o dispersivo para la resistencia basal, independientemente de la formulación reológica seleccionada. Por el contrario, el modelo CP-FB considera siempre únicamente la componente hidrostática 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.

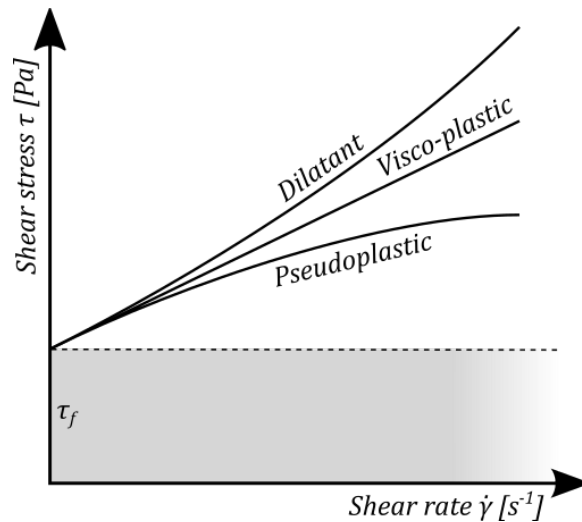


Figura 7.3 – Comportamiento de la resistencia basal para el modelo viscoplástico no lineal de fricción.

Cabe mencionar que se trata de una formulación generalizada integrada en profundidad para flujos viscoplásticos, como se muestra en la figura anterior, 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 viscoplastico lineal para $m = 1$, con una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la tasa de cizalladura dada por

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

- Comportamiento de espesamiento 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 de fricción:** Basada en , la relación de Coulomb turbulenta aumenta la resistencia basal proporcionalmente a $|\mathbf{u}|^2$ y utiliza el enfoque de Manning para incluir los esfuerzos turbulentos en su estimación, como sigue:

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

En el caso particular de material granular puro y 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 de fluencia cohesiva, un esfuerzo viscoso y la contribución turbulenta o dispersiva conduce a la formulación cuadrática para flujos turbulentos hiperconcentrados con esfuerzo cohesivo dominante a bajas tasas de cizalladura. Para este modelo aditivo, los módulos de resistencia basal τ_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 $\mu_B [Pa \cdot s]$ 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 es adecuado $k_0 = 24$, aunque este valor aumenta con la rugosidad y la geometría irregular del canal.

La tabla resume los distintos modelos utilizados por HydroBID Flood MT para estimar la resistencia basal τ_b .

p0.5cm p3cm c p3cm

- **1:** Turbulent Manning; $\tau_b = \tau_f + \rho g_\psi \frac{n^2 |\mathbf{u}|^2}{h^{1/3}}$; Newtoniano turbulento.
- **2:** Full Bingham; $2\tau_b^3 - 3 \left(\tau_y + 2\mu_B \frac{|\mathbf{u}|}{h} \right) \tau_b^2 + \tau_y^3 = 0$; Viscoplastico cohesivo.
- **3:** Simplified Bingham; $\tau_b = \frac{3}{2} \tau_y + 3\mu_B \frac{|\mathbf{u}|}{h}$; Viscoplastico cohesivo.
- **4:** Turbulent Coulomb; $\tau_b = \tau_f + \rho g_\psi \frac{n^2 |\mathbf{u}|^2}{h^{1/3}}$; $\tau_f = (\rho g_\psi h - \mathcal{P}_b) \tan \delta_f$; Turbulento de fricción.

- **5:** Turbulent Yield; $\tau_b = \tau_y + \rho g_\psi \frac{n^2 |\mathbf{u}|^2}{h^{1/3}}$; Turbulento cohesivo.
- **6:** Turbulent Coulomb/Yield; $\tau_b = \min(\tau_y, \tau_f) + \rho g_\psi \frac{n^2 |\mathbf{u}|^2}{h^{1/3}}$; $\tau_f = (\rho g_\psi h - \mathcal{P}_b) \tan \delta_f$; Friccional/-cohesivo y turbulento.
- **7:** Quadratic; $\tau_b = \tau_y + \frac{k_0}{8} \mu_B \frac{|\mathbf{u}|}{h} + \rho g_\psi \frac{n^2 |\mathbf{u}|^2}{h^{1/3}}$; $k_0 = 24$; Cohesivo/viscoso y turbulento.
- **8:** Granular; $\tau_b = \rho g_\psi h \tan \delta_f$; Fricción seca de material puro.
- **9:** Viscoplastic Coulomb; $\tau_b = \tau_f + \left(\frac{2m+1}{m}\right)^m \mu_P \left(\frac{|\mathbf{u}|}{h}\right)^m$; $\tau_f = (\rho g_\psi h - \mathcal{P}_b) \tan \delta_f$; Adelgazamiento por fricción $m < 1$ o espesamiento por fricción $m > 1$.
- **10:** Voellmy; $\tau_b = \mathcal{A} \rho g_\psi h + \rho g_\psi \frac{|\mathbf{u}|^2}{\mathcal{B}}$; $\mathcal{A} \approx \tan \delta_f$ y $\mathcal{B} \approx h^{1/3}/n^2$; De fricción con presión intersticial despreciable.

Nota

NOTAS:

- Para simular flujos de lodo de materiales gruesos, se recomienda utilizar Turbulent-Coulomb o Turbulent-Coulomb-Yield.
- Los flujos de lodo de materiales plásticos finos suelen representarse mejor mediante la formulación de Bingham.
- 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 el material, pero para obtener alcances similares a los de los flujos de lodo debe estar entre 1° y 8° , y nunca ser superior a 15° para materiales con baja tendencia a fluir. Usar ángulos de fricción cercanos a 30° hace casi imposible la movilización 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 entre: 1) mantener constantes en el tiempo y el espacio la viscosidad de Bingham μ_B y el esfuerzo de fluencia τ_y ; o bien 2) hacer que la viscosidad de Bingham μ_B y el esfuerzo de fluencia τ_y varíen en función de la concentración sólida global de 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 α_1 , β_1 , α_2 y β_2 son coeficientes empíricos definidos por el usuario, que pueden estimarse a

partir de mediciones del fluido simulado o de la experiencia y las 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 distintos 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 de cada fracción de sedimento en todos los contornos de entrada. Estos datos deben incluirse en el mismo archivo que define las series temporales de caudal en cada entrada. Por ejemplo, si se seleccionan dos fracciones de sedimento y BCType = 6, con la entrada definida como caudal, un archivo típico sería el siguiente:

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 instantes. 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 m³/s o ft³/s. La tercera y la cuarta columnas indican, respectivamente, las concentraciones volumétricas de sedimento de cada una de las dos fracciones indicadas.

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*.

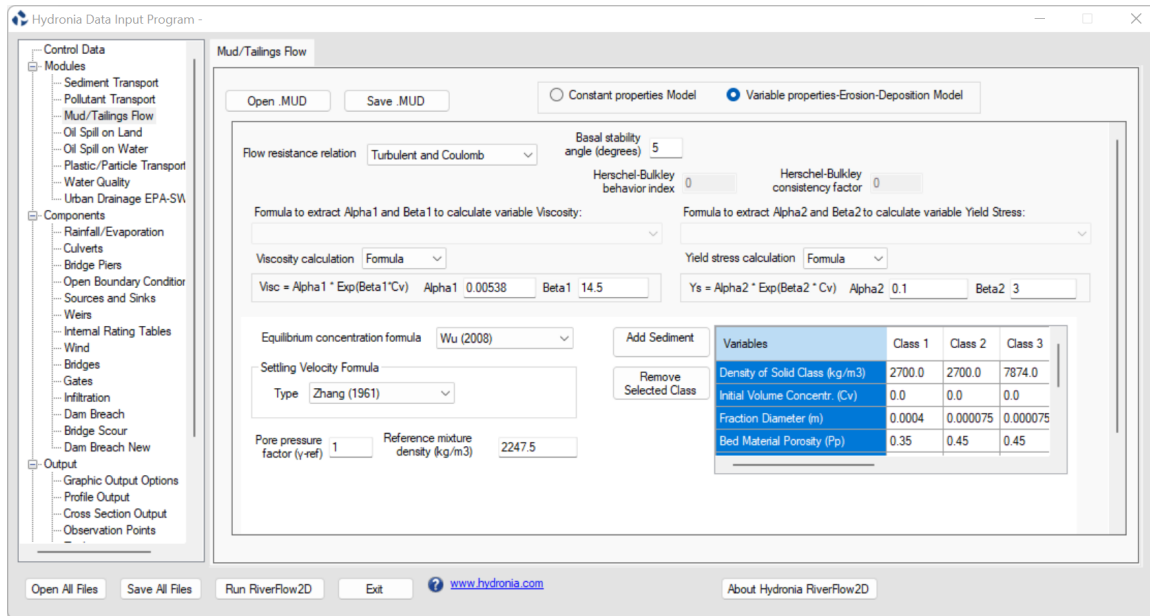


Figura 7.4 – Panel Mud/Tailings Flow del DIP.

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

- La relación Turbulent Manning (1) solo requiere el parámetro de rugosidad n ;
- La formulación Full Bingham (2) requiere el esfuerzo de fluencia τ_y y la viscosidad de Bingham μ_B ;
- La formulación Viscoplastic Coulomb (9) requiere el parámetro de viscosidad plástica μ_P , el índice de comportamiento m y el ángulo de fricción basal δ_f necesario para calcular la resistencia de fluencia por fricción τ_f , además de los parámetros γ_{ref} y ρ_{ref} para estimar la presión intersticial basal $\mathcal{P}_b$.

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 mediante fórmulas recomendadas en varias publicaciones. La figura 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 también presenta las fórmulas disponibles 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 viscosidad en función de la concentración volumétrica C_v

El panel *Mud/Tailings Flow* también calcula la densidad global uniforme ρ como función de la concentración volumétrica C_v y de la densidad del agua ρ_w , mediante la siguiente fórmula:

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

8 | Modelo de drenaje urbano: UD

La modelación 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 provocados por la insuficiencia de las redes de drenaje. Cuando esto ocurre, el agua rebosa hacia la superficie en los elementos de conexión, pozos de visita o 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 la distribución del flujo.

El módulo UD de HydroBID Flood integra las amplias capacidades de HydroBID Flood para el agua superficial con el modelo de drenaje pluvial SWMM, de código abierto y estándar del sector, desarrollado por la Environmental Protection Agency de Estados Unidos. SWMM contiene un conjunto flexible de capacidades de modelación hidráulica que se utilizan para encaminar la escorrentía y los caudales externos a través de la red de conductos de drenaje. Rossman (2015) y Rossman (2017) presentan más detalles sobre estos modelos.

Un aspecto clave del acoplamiento de los modelos de drenaje superficial es la interacción entre modelos (Leandro (2016), Rubinato (2017)). La metodología adoptada en HydroBID Flood garantiza la conservación exacta de la masa en 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 HydroBID Flood y el modelo de alcantarillado pluvial SWMM 5.1 puede manejar condiciones transitorias en ambos dominios y funciona con mallas triangulares flexibles.

8.1 Modelo de flujo en tuberías 1D

En este trabajo, el encaminamiento del flujo en tuberías se modela mediante el componente de encaminamiento del software SWMM 5.1 (Rossman (2017)), que transporta los caudales superficiales de entrada a través de un sistema de tuberías diseñado por el usuario, formando una red de enlaces conectados en nodos. El encaminamiento del flujo de agua se rige por las ecuaciones 1D de St. Venant para la conservación de masa y cantidad de movimiento:

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

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

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 para Q utiliza una discretización por 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 HydroBID Flood y SWMM

Pueden producirse varias situaciones de 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 la profundidad del agua superficial (h), la carga de presión en la tubería (h_p) y la distancia entre el fondo del cauce 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 visita D_M , el área del pozo de visita A_M y un coeficiente C que representa las pérdidas de energía en el pozo de visita. La forma particular utilizada para formular el caudal de intercambio Q_e sigue de cerca la formulación propuesta en Rubinato et al. (2017).

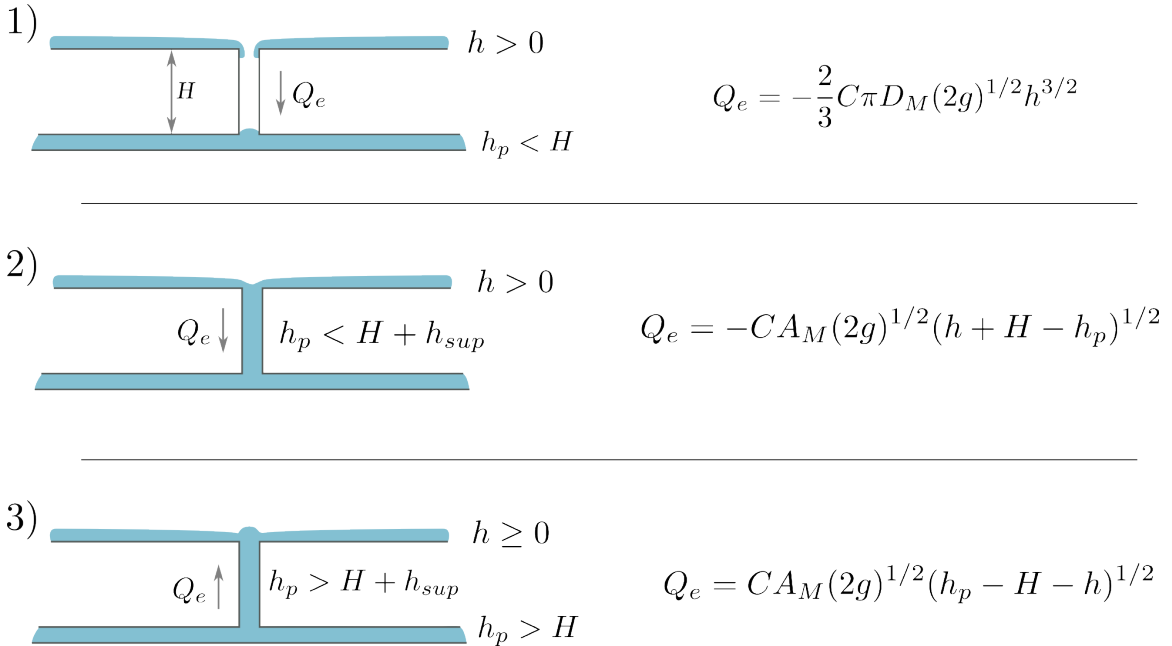


Figura 8.1 – Posibles escenarios hidráulicos en el modelo acoplado HydroBID Flood EPA-SWMM.

Para garantizar un vínculo eficiente y conservativo en volumen entre HydroBID Flood y SWMM, el paso de tiempo de HydroBID Flood siempre registrará el avance temporal de la simulación.

8.3 Herramienta Rooftop Tool

Esta herramienta permite conectar todas las celdas situadas sobre un polígono de intercambio, como una azotea, con un pozo de visita 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. Esta sección describe un procedimiento básico para estimar el caudal de agua a través de la tubería de desagüe que conduce el agua de lluvia desde la azotea hasta el nivel de la calle (véase la figura correspondiente). Estos sistemas son comunes en edificios urbanos y desempeñan un papel fundamental en el drenaje de aguas pluviales. Estimar con precisión el flujo en estas tuberías es importante no solo para garantizar una evacuación eficiente del agua, sino también para dimensionar correctamente los componentes y prevenir desbordamientos y daños estructurales.

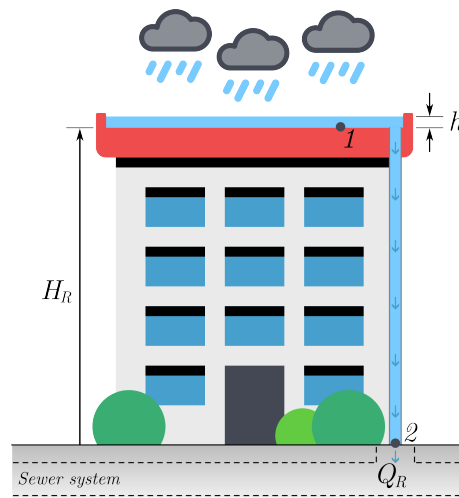


Figura 8.2 – Diagrama esquemático de un sistema de drenaje de azotea. La tubería vertical conduce el agua de lluvia desde el techo (elevación z_2) hasta el nivel de la calle (elevación z_1).

El enfoque presentado aquí se basa en principios fundamentales de la mecánica de fluidos. El análisis comienza aplicando la ecuación de energía entre los puntos 1 y 2, que relaciona las distintas formas de energía presentes en un sistema de flujo. Mediante simplificaciones adecuadas, como suponer 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 a través de la tubería de la azotea, ρ es la densidad del agua, g es la aceleración debida a la gravedad y z es la elevación. K_T es un coeficiente dimensional de pérdidas considerado un dato obligatorio del usuario. Puede aproximarse como 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 su sección transversal y f es el coeficiente de fricción según el diagrama de Moody.

Las hipótesis de simplificación son:

- La presión tanto en la entrada como en 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 hipótesis, la ecuación de energía se simplifica a:

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

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

El caudal de agua se obtiene entonces como

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

Una vez estimado el caudal de agua Q_R a través de la tubería de desagüe mediante el método descrito, se introduce como caudal externo de entrada en un modelo de drenaje urbano subterráneo desarrollado con SWMM Storm Water Management Model. En SWMM, estos caudales suelen representarse como entradas externas en nodos específicos de la red de alcantarillado. Estos nodos corresponden a los lugares 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. El modelo de transporte de contaminantes de HydroBID Flood proporciona una herramienta para calcular concentraciones de múltiples contaminantes en diversas situaciones fluviales y estuarinas.

Un soluto o contaminante se define como cualquier sustancia que es transportada por advección con el agua y está bien mezclada en la dirección vertical. La simulación del 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 tiempo y espacio específicos, el modelo determina la distribución espacial de sus concentraciones en tiempos futuros. Este proceso físico se representa 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 HydroBID Flood PL puede manejar simultáneamente múltiples contaminantes, para mayor claridad esta sección 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 2D de aguas poco profundas con transporte de solutos puede escribirse como 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 ϕ es la concentración de soluto promediada en profundidad. Los términos fuente asociados a la

ecuación de transporte de solutos se expresan como sigue:

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

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

9.2 Solución numérica del transporte de contaminantes por volúmenes finitos

En HydroBID Flood, el transporte de solutos se ha considerado dejando de lado 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 pasos de tiempo muy pequeños debido a la combinación de los números de CFL y de Peclet.

La resolución numérica de la ecuación de transporte de solutos mediante un método explícito de volúmenes finitos suele realizarse resolviendo la concentración promediada en profundidad por separado de las ecuaciones de aguas poco profundas, es decir, mediante un algoritmo desacoplado más sencillo. Una vez resueltas las ecuaciones hidrodinámicas, las sustancias o solutos correspondientes se transportan por advección utilizando el campo de flujo calculado previamente.

Para obtener un método completamente conservativo, HydroBID Flood 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 4×4 para el modelo 2D. Sobre esta base puede aplicarse 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 de la concentración final de soluto incluso en casos extremos, en HydroBID Flood se implementó una redistribución conservativa de los flujos máximos de soluto propuesta en.

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

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

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

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

donde

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

en la celda i . La figura muestra un esquema de los flujos.

Desde el punto de vista físico, la nueva masa de soluto en una celda fija puede interpretarse como

un intercambio de volúmenes de agua con cierta concentración a través de las paredes vecinas, que se mezclan (método de tipo Godunov de volúmenes finitos) con la masa existente en el instante anterior, como se muestra en la figura siguiente. Según esta filosofía, las celdas de contorno de salida requieren 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 al actualizar la celda de contorno BC (véase la figura siguiente).

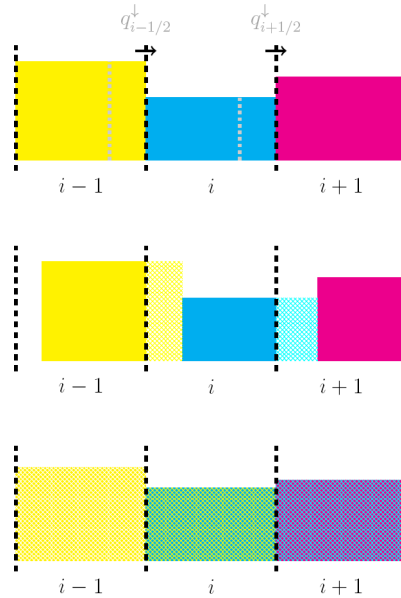


Figura 9.1 – Representación física del intercambio de masa de soluto entre celdas con $q_{i-1/2}^\downarrow, q_{i+1/2}^\downarrow > 0$.

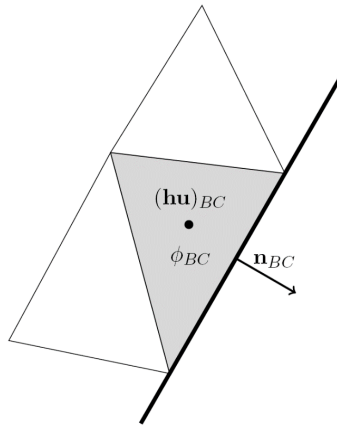


Figura 9.2 – Extracción de masa de soluto en una celda de contorno de salida.

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

9.3 Introducción de datos para el modelo de transporte de contaminantes

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

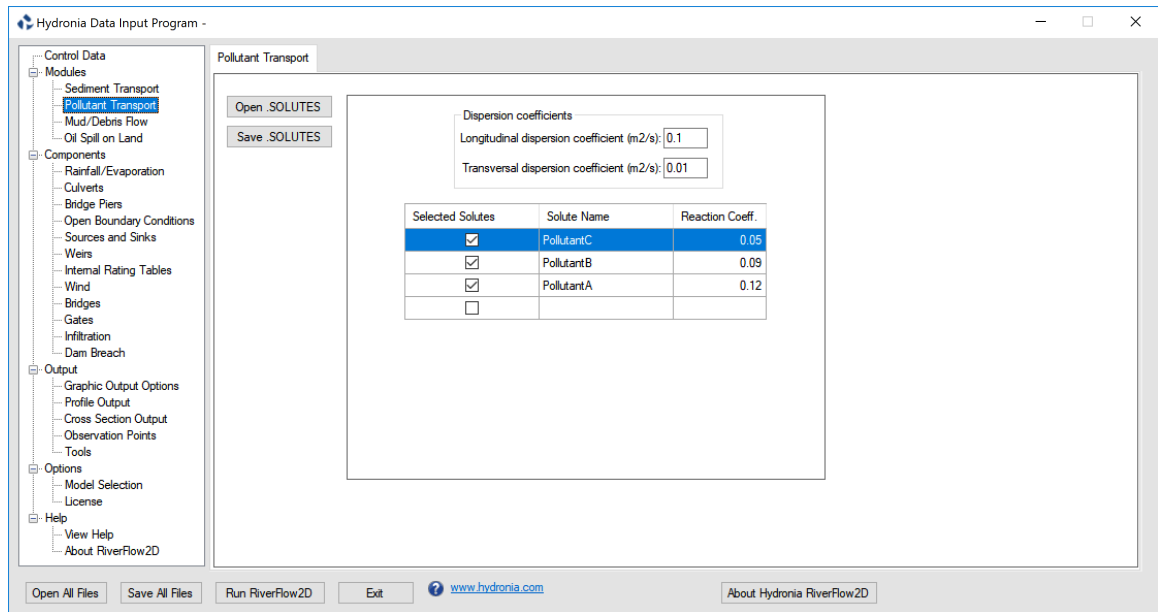


Figura 9.3 – Panel *Pollutant Transport* del DIP.

9.4 Supuestos del modelo de transporte de contaminantes

Los principales supuestos de la versión actual de HydroBID Flood son los siguientes:

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

10 | Modelo de calidad del agua: módulo WQ

En este capítulo se presenta un solucionador de flujo de aguas someras en 2D 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 irregular del lecho y frentes de secado y mojado, verificando que la solución numérica conserva en estas situaciones las propiedades requeridas (propiedad C y positividad). El modelo puede operar en régimen estacionario o transitorio, lo que permite evaluar de manera eficiente el impacto ambiental de los flujos de agua.

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

&Opción:

- &: 1; 2; 3; 4 - **Variable de estado: Unidades SI; Unidades inglesas** - **Nitrógeno amoniacal** ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$): gN/m^3 ; lbN/ft^3 ; &; - **Nitrógeno nítrico** ($\text{NO}_3^- - \text{N}$): gN/m^3 ; lbN/ft^3 ; &; - **Fósforo inorgánico (IP)**: gP/m^3 ; lbP/ft^3 ; &; - **Carbono del fitoplancton (PHYT)**: gC/m^3 ; lbC/ft^3 ; &; - **Demanda bioquímica de oxígeno carbonosa última (CBOD)**: gO_2/m^3 ; lbO_2/ft^3 ; &; - **Oxígeno disuelto (DO)**: gO_2/m^3 ; lbO_2/ft^3 ; &; - **Nitrógeno orgánico (ON)**: gN/m^3 ; lbN/ft^3 ; &; - **Fósforo orgánico (OP)**: gP/m^3 ; lbP/ft^3 ; &; - **Temperatura (T)**: $^{\circ}\text{C}$; $^{\circ}\text{F}$; &; - **Bacterias coliformes totales (TC)**: $\text{TC}/100 \text{ mL}$; $\text{TC}/100 \text{ mL}$; &;

Oxígeno disuelto

El DO (ϕ_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 cauce puede cambiar por el intercambio con la atmósfera (coeficiente k_a) y por el crecimiento de algas (fotosíntesis).

Sin embargo, su disminución 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 del sedimento (SOD), definida como la tasa de DO necesaria para la oxidación de materia orgánica en sedimentos bénticos. La concentración de DO oscila con frecuencia en la columna de agua, pero la oscilación es mayor cuando se debe a 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; ϕ_5) es la concentración de material orgánico presente en la masa 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 antrópicas, la muerte de algas (k_{1d}) y la escorrentía natural. Existe una interacción mutua entre los componentes CBOD y DO; 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 una masa de agua puede verse afectada por la presencia de fitoplancton (ϕ_4). El crecimiento de esta población puede acelerarse por la adición de nutrientes (nitrógeno y fósforo), ya sea debido a actividades humanas o a procesos naturales. El exceso de nutrientes favorece un mayor crecimiento de la población. Este crecimiento incontrolado se denomina comúnmente eutrofización. Cuando esta población alcanza un tamaño considerable, puede provocar variaciones diurnas de DO que pueden ser mortales para 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 ambientales externas que afectan a estos sistemas son la temperatura, el flujo advectivo y la radiación solar. El enfoque clásico supone que estos efectos son multiplicativos. Por tanto, el aumento del fitoplancton en ríos y cauces 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 se expresa mediante R_4 .

DBO nitrogenada (NBOD)

El nitrógeno puede encontrarse en cinco formas principales en los ambientes acuáticos: nitrógeno orgánico (ON), amoníaco (NH_3), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-) y gas nitrógeno disuelto (N_2). Los compuestos nitrogenados siguen procesos secuenciales que transforman el ON en NH_3 , luego en NO_2^- y finalmente en NO_3^- (Gordillo et al. 2020).

El ON (ϕ_7) originalmente presente en el agua se transforma parcialmente en NH_3 y se deposita parcialmente en el fondo; mientras tanto, el aumento del ON se debe a la muerte del fitoplancton. La ecuación cinética del ON que describe estos procesos se expresa como R_7 e incluye (k_{71}).

El NH_3 (ϕ_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 la transformación del ON en 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 asimilación necesaria para el crecimiento del fitoplancton y por la transformación de NH_3 en NO_3^- debida a la nitrificación. El proceso cinético correspondiente a esta variable de estado es R_1 .

El NO_3^- (ϕ_2), producto final de la nitrificación, representa la suma de NO_2^- y NO_3^- (la cantidad de 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 se genera por el proceso de nitrificación (k_{12}). Por tanto, la concentración total de nitrato puede expresarse como R_2 .

Fósforo (OP, PO₃)

Para modelar el ciclo del fósforo se consideran dos ecuaciones cinéticas individuales: fósforo orgánico (OP) (ϕ_8) y fósforo inorgánico PO₃⁻ (ϕ_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 del PO₃⁻ se ve afectada por la asimilación necesaria para el crecimiento del fitoplancton. Sin embargo, la producción de fósforo se debe a la muerte y respiración del fitoplancton y a la mineralización. Por tanto, la ecuación matemática del PO₃⁻ puede expresarse como R_3 .

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

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, la temperatura afecta a los coeficientes de velocidad de la mayoría de las reacciones en aguas naturales (Gordillo et al. 2020). En el presente trabajo, algunos coeficientes de los procesos de biodegradación k_b se han hecho dependientes de la temperatura con referencia a la velocidad a 20 °C (Ji, 2017), de la siguiente manera:

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

donde T es la temperatura en grados Celsius, k_b es la tasa de biodegradación y θ_R es un factor de corrección de temperatura para cada proceso. Según Chapra (2008), el factor de corrección está comprendido entre $1.01 < \theta_R < 1.1$ 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 en el que se considera la temperatura como una variable escalar cuya evolución también puede formularse mediante una ecuación de advección-reacción. El balance térmico total de una masa 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 cauce a partir de 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 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 $\mathbf{u}$ a lo largo de x e y

h = profundidad

La ecuación de transporte se escribe como:

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

en donde ϕ_i es la concentración media de cada variable de estado, E es el coeficiente de dispersión, f_i representa las fuentes puntuales y difusas, 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 que incluyen coeficientes estequiométricos que establecen las relaciones entre los componentes de cada proceso. La matriz general para simular estas opciones se define de acuerdo con las tablas correspondientes.

11 | Socavación en puentes

Los cálculos de socavación de puentes implementados en HydroBID Flood se basan en los métodos desarrollados por el U.S. Department of Transportation y descritos detalladamente en la Hydraulic Engineering Circular No. 18. HydroBID Flood 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 mediante 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 por la forma de la nariz de la pila.

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

α es el ángulo de ataque en radianes,

K_3 = factor de corrección por 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/s² en unidades inglesas y 9.81 m/s² en el 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 $\sigma \geq 1.5$.

$$y_s = 1.1 K_1 K_2 a^{0.62} y_1^{0.38} \tanh \frac{Fr D^2}{1.97 \sigma^{1.5}}$$

donde:

$y_s, K_1, K_2, a, y_1, y, V_1$ se definieron anteriormente:

FrD = número de Froude densimétrico de las partículas = $V_1 / \sqrt{g(Sg - 1)D50}$,

Sg = gravedad específica del sedimento,

$D50$ = tamaño mediano del material del lecho, ft o m,

$D84$ = tamaño D84 del sedimento, ft o m,

σ = coeficiente de gradación del sedimento = $D84/D50$.

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 se definieron anteriormente, y:

V_c = velocidad crítica para iniciar 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 se utiliza 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,

θ = ángulo de reposo del material del lecho.

11.5 Socavación de estribos

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

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

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

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

$$YcLB = Y_1(q2c/q1)^{6/7}$$

$$YcCW1 = (q2c/(K_4 D50^{1/3})^{6/7}$$

$$YcCW2 = (\gamma_w/\tau_c)(n q2c/K_5)^{6/7}$$

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 iniciar la erosión del material, ft/s o m/s,

$V_c = K_u y_1^{1/6} D50^{1/3}$,

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

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

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

11.5.1 Factor de amplificación de la socavación para estribos spill-through y condiciones de lecho vivo

Para determinar el factor de amplificación de la socavación para estribos spill-through y condiciones de lecho vivo se utilizan las siguientes regresiones.

$$x = q2c/q_1$$

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

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 muros laterales y condiciones de lecho vivo

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

$$x = q2c/q_1$$

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

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 spill-through y condiciones de agua clara

Para determinar el factor de amplificación de la socavación para estribos spill-through 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 muros laterales y condiciones de agua clara

Para determinar el factor de amplificación de la socavación para estribos con muros laterales 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 RiverFlow2D CPU

El código de RiverFlow2D se ha paralelizado mediante directivas OpenMP disponibles en el compilador Intel C++. La interfaz de programación de aplicaciones (API) de OpenMP admite programación paralela multiplataforma de memoria compartida en C/C++ y Fortran sobre arquitecturas que incluyen MAC OS, Unix y Windows (OpenMP, 2009). OpenMP proporciona instrucciones para paralelizar código secuencial existente y ejecutarlo en plataformas de memoria compartida, desde computadoras asequibles y ampliamente disponibles con varios 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 este modo, el modelo optimiza sus cálculos para la arquitectura particular de cada computadora.

La figura muestra la aceleración del modelo en función del 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 cuando se utiliza el modelo paralelizado en esta plataforma informática particular.

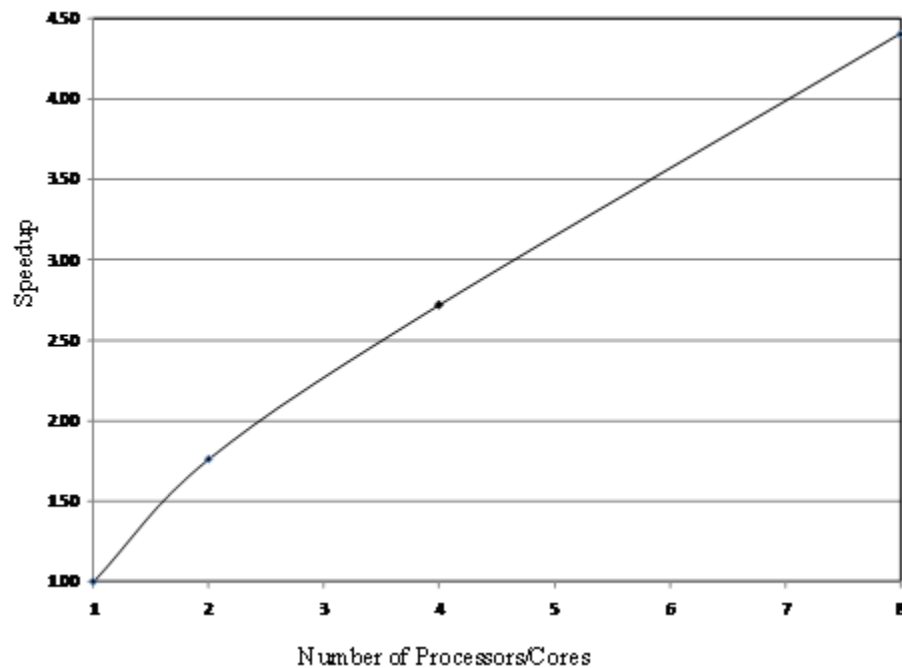


Figura 12.1 – Aceleración al utilizar el código paralelo de RiverFlow2D en función del número de núcleos del procesador.

12.2 RiverFlow2D GPU

La versión GPU del modelo RiverFlow2D ofrece aceleraciones notables que reducen considerablemente los tiempos de ejecución. RiverFlow2D GPU implementa dos estrategias: paralelización OpenMP y técnicas GPU. Dado que, al tratar flujos transitorios de inundación, el número de llamadas a celdas mojadas cambia durante la simulación, la implementación de OpenMP incluye 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 modelación numérica de los frentes de mojado/secado implica un paso de corrección que no es completamente local, lo cual requiere un tratamiento especial para evitar degradar el rendimiento del modelo. La versión GPU reduce el tiempo de cálculo hasta en un factor de 700X en comparación con ejecuciones de CPU no paralelizadas (1 núcleo). La figura muestra pruebas de rendimiento realizadas con tecnología reciente de hardware GPU, que demuestran que las técnicas de paralelización implementadas en RiverFlow2D GPU pueden reducir significativamente el costo computacional.

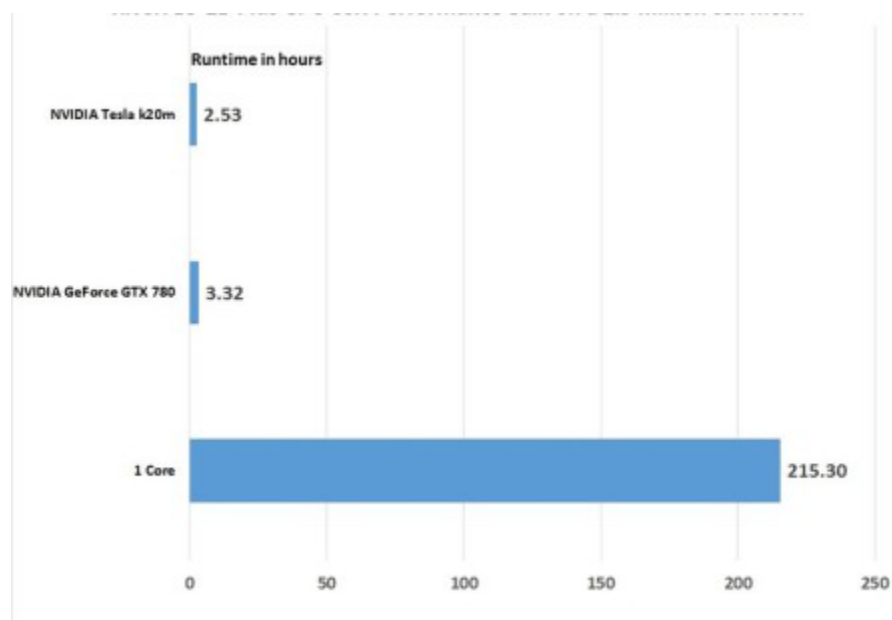


Figura 12.2 – Aceleración al utilizar el código paralelizado de RiverFlow2D en función del número de núcleos del procesador.

13 | Componentes hidráulicos e hidrológicos

Los componentes de HydroBID Flood son condiciones de contorno internas que se pueden usar para complementar cálculos que pueden no manejarse directamente usando las ecuaciones de flujo 2D. Los componentes se pueden especificar en polígonos, polilíneas o puntos, según los datos requeridos.

Los siguientes componentes se establecen sobre polígonos:

- **Rainfall and Evaporation:** representa la lluvia y la evaporación distribuidas espacialmente.
- **Infiltration:** contabiliza las pérdidas por infiltración.
- **Wind:** permite incorporar el efecto de la tensión del viento distribuida espacialmente en la superficie del agua.

Los siguientes componentes hidráulicos están colocados sobre polilíneas (arcos característicos):

- **Bridges:** tiene en cuenta los puentes de geometría general, incluido el flujo de presión y el desbordamiento.
- **Dam Breach:** contabiliza presas o diques internos que pueden romperse.
- **Internal Rating Tables:** proporciona una relación interna de elevación y descarga de agua.
- **Gates:** utilizado para representar estructuras de compuertas.
- **Weirs:** representan estructuras en cresta como presas, diques, muros acústicos, etc., donde existe una relación única entre descarga y profundidad.

Los componentes hidráulicos que se ingresan por puntos son:

- **Bridge Piers:** tiene en cuenta las fuerzas de arrastre del pilar en una formulación simplificada.
- **Culverts:** Conductos de transporte unidimensionales donde el caudal se puede calcular mediante ecuaciones para estructuras circulares o en caja y tablas de clasificación.
- **Sources and Sinks:** proporciona un medio para ingresar entradas o salidas puntuales que pueden variar en el tiempo.

13.1 Componente de puentes

HydroBID Flood ofrece varias opciones para integrar la hidráulica del puente en los cálculos de malla 2D. La opción más común es crear la geometría del plano de la pila generando una malla de celdas triangulares 2D que represente cada pila como un obstáculo sólido. En ese caso, el modelo

calculará el flujo alrededor del pilar y tendrá en cuenta la resistencia del pilar. Este sería el enfoque preferido cuando el usuario necesita conocer el flujo detallado alrededor de los pilares, pero no tiene en cuenta el flujo de presión ni las condiciones de desbordamiento. En esta opción, la malla resultante alrededor de los pilares suele tener celdas muy pequeñas, lo que puede provocar un aumento de los tiempos de procesamiento.

El componente *Bridges* es una herramienta integral de cálculo de la hidráulica del puente que no requiere capturar en detalle la geometría del plano de los pilares del puente, por lo que permite pasos de tiempo más largos, al tiempo que permite calcular la hidráulica del puente teniendo en cuenta la alineación arbitraria del plano, la geometría compleja del puente, el flujo de superficie libre, el flujo de presión, el desbordamiento, el flujo de presión combinado y el desbordamiento, y la inmersión, todo en 2D.

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

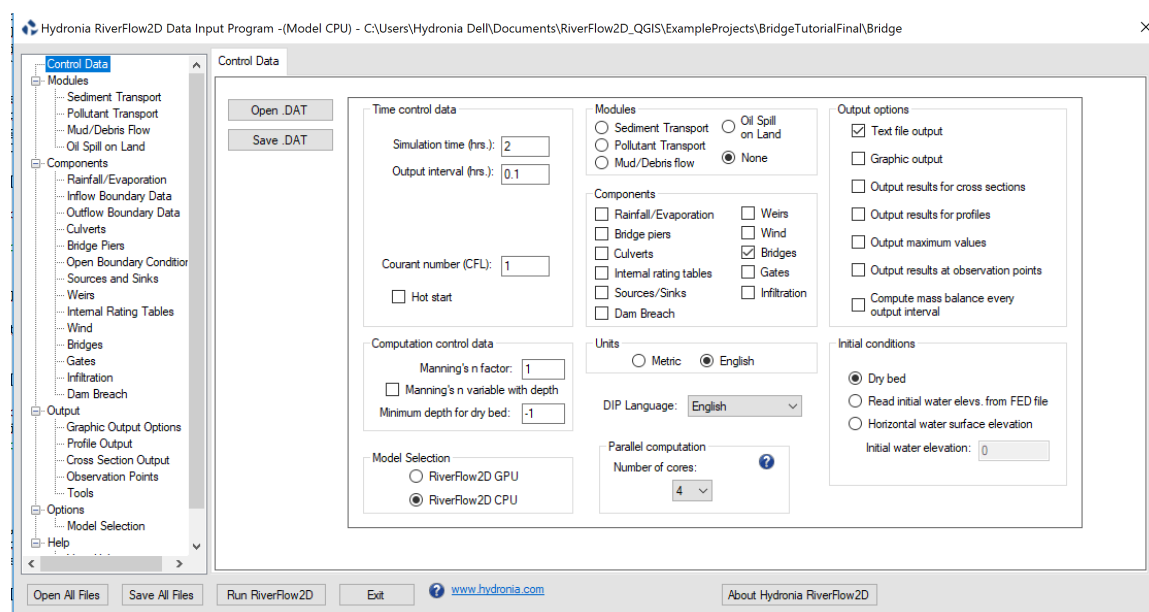


Figura 13.1 – Panel DIP *Control Data* con el componente Puentes seleccionado.

Los datos del plano del puente se ingresan en la capa HydroBID Flood *Bridges*. Para crear un puente, consulte el tutorial *Simulating bridges* en el documento Tutoriales.

Nota

No hay límite para la cantidad de puentes que se pueden utilizar.

13.1.1 Archivo de datos de geometría del puente

El archivo de sección transversal de geometría del puente es necesario para definir la sección transversal del puente. Está definido por cuatro polilíneas y dividido en cinco columnas de la siguiente manera:

Línea 1: Número de puntos que definen polilíneas.

- NP

Líneas NP 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 para el flujo.
- El espacio entre ZLOWER y LOWCHORD está abierto al flujo.
- El espacio entre LOWCHORD y DECKELEV está bloqueado para el flujo.

13.1.1.1 Ejemplo del archivo de sección transversal del puente

La siguiente tabla es un ejemplo del 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 un puente.

- **BEDELEV:** R; -; metros o pies; Elevación del lecho. Debe ser la elevación más baja para todas las polilíneas en un punto determinado.
- **DECKELEV:** R; -; metros o pies; Elevación del tablero del puente. Debe ser la elevación más alta para todas las polilíneas en un punto determinado.
- **LOWCHORD:** R; -; metros o pies; Elevación del tablero inferior del puente. LOWCHORD debe ser mayor o igual a ZLOWER y menor o igual a DECKELEV para un punto en particular. El espacio entre LOWCHORD y DECKELEV es un área bloqueada al flujo.
- **NP:** I; -; > 1; Número de puntos que definen polilíneas de sección transversal.
- **STATION:** R; -; metros o pies; Distancia desde el punto más a la izquierda que define la polilínea de sección transversal. Todos los puntos de polilíneas deben tener una estación común.
- **ZLOWER:** R; -; metros o pies; Elevación de polilínea inferior. ZLOWER debe ser mayor o igual a BEDELEV y menor o igual a LOWCHORD para un punto determinado. El espacio entre BEDELEV y ZLOWER es una zona bloqueada al flujo. El espacio entre ZLOWER y LOWCHORD está abierto al flujo. Si el puente no tiene agujeros, 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 la dirección x y y respectivamente, formulada en términos de las pendientes del lecho del nivel del fondo z . El término $\mathbf{S}_f$

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

Implica los esfuerzos cortantes del lecho $\tau_{f,x}, \tau_{f,y}$ en la dirección x y y respectivamente, siendo ρ la densidad del fluido. El último término, $\mathbf{S}_b$, significa pérdidas de energía locales debido 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 a la tensión del lecho en la ecuación se formula comúnmente como una extensión de una formulación 1D. El mismo enfoque se aplica en HydroBID Flood 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 impulso. A continuación se describen modelos empíricos para la pérdida de energía causada por el puente.

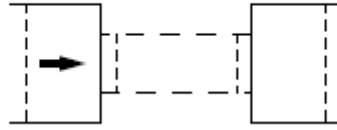


Figura 13.3 – Vista superior de un puente que muestra las secciones transversales de interés. Por simplicidad, sólo se representan dos pilares.

13.1.2.1 Disipación de energía en puentes

Para canales también se puede utilizar la formulación de Borda-Carnot para pérdidas de energía en contracciones o dilataciones bruscas en tuberías. Esto a su vez puede modelar puentes con superficie de agua libre. La pérdida de energía se expresará en términos de la altura total disponible ΔH_{BC} , y representa la energía mecánica total del flujo. En un marco 1D, la pérdida de carga ΔH_{BC} se expresa de la siguiente manera

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

donde ΔH_c y ΔH_e son las pérdidas por contracción y expansión respectivamente

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

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 de flujo de la sección transversal efectiva. La numeración de áreas se muestra en las Figuras. 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 salida respectivamente.

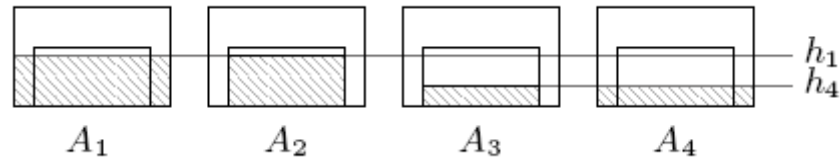


Figura 13.4 – Ejemplo sencillo de A_1 , A_2 , A_3 y A_4 utilizados para calcular la pérdida de carga en puentes de superficie libre.

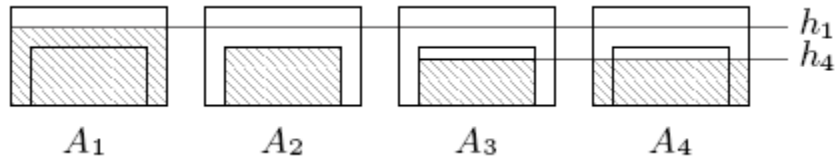


Figura 13.5 – Ejemplo simple de A_1 , A_2 , A_3 y A_4 utilizados para calcular la pérdida de carga en puentes parcialmente sumergidos.

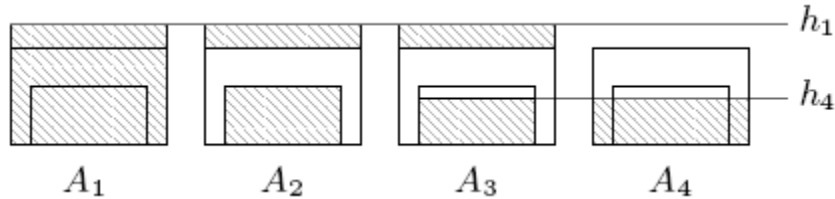


Figura 13.6 – Ejemplo simple de A_1 , A_2 , A_3 y A_4 utilizados para calcular la pérdida de carga en puentes completamente sumergidos.

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

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

con Q_1 y Q_4 los vertidos totales en las áreas A_1 y A_4 , expresados en función de la elevación de la superficie del agua, $d = h + z$. Se pueden describir diferentes regímenes. La Figura muestra un croquis de las áreas consideradas en el caso de superficie libre, la Figura muestra las áreas equivalentes para puentes parcialmente sumergidos y la Figura para puentes totalmente sumergidos.

13.1.2.2 Integración de las pérdidas de energía generadas por los puentes

La formulación unificada de los términos fuente que tienen en cuenta las pérdidas de energía generadas por los puentes también garantiza una propiedad bien equilibrada en casos estables con la velocidad. Para hacer eso 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

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

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

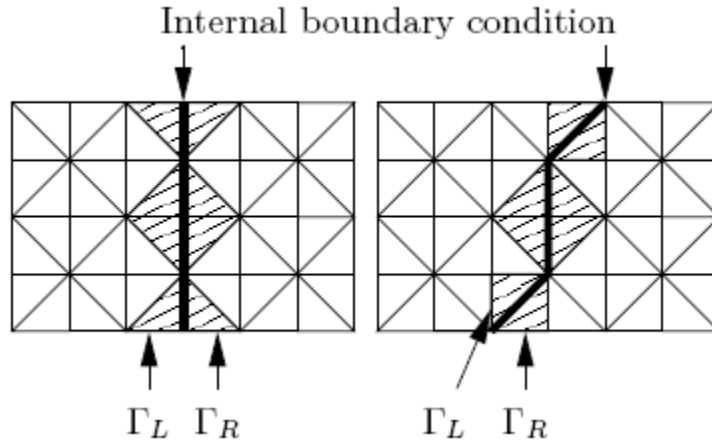


Figura 13.7 – Aplicación del esquema en mallas estructuradas triangulares. Puente normal (izquierda) y puente oblicuo (derecha).

En cada paso de tiempo, las variables necesarias para el cálculo de la pérdida de carga global del puente se promedian a partir de las celdas en las secciones aguas arriba y aguas abajo, como se ilustra en la figura anterior. La descarga 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 la superficie transversal promedio del nivel del agua se estima como

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

que involucran celdas con valores de $h > 0$. Los signos de Q_{Γ_L} y Q_{Γ_R} se utilizan para determinar qué tramo está aguas arriba y cuál aguas abajo. Si es $Q_{\Gamma_L} \geq 0$, la descarga a través del puente se calcula como $Q = Q_{\Gamma_L}$ y las áreas se calculan usando $d_1 = d_{\Gamma_L}$ y $d_4 = d_{\Gamma_R}$. En el caso de $Q_{\Gamma_L} < 0$, la descarga a través del puente se calcula como $Q = Q_{\Gamma_R}$ y las secciones se invierten configurando $d_1 = d_{\Gamma_R}$ y $d_4 = d_{\Gamma_L}$. A continuación se calculan las diferentes áreas y el ancho superior de la sección transversal en función de la superficie media del nivel del agua. A partir de estos valores se puede evaluar la pérdida de carga total ΔH .

13.1.2.3 Influencia del ancho del puente

El algoritmo de cálculo utilizado en el componente *Bridges* ignora el efecto del ancho de la estructura (distancia perpendicular a la alineación del puente) sobre la pérdida de carga. Según los estudios

citados, el ancho del puente tiene una pequeña influencia en las variables de 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 pilares rectangulares con relaciones ancho-longitud ($w: l$) de 1:4, 1:7 y 1:13, donde w es la dimensión del pilar perpendicular a la dirección del flujo y l es la longitud del pilar paralela al flujo. Yarnell señaló que la pérdida de energía aumentó menos del 10 % para la configuración con pilares más largos. También se realizaron simulaciones numéricas para confirmar los experimentos de Yarnell utilizando pilares con las mismas relaciones entre ancho y longitud y una amplia gama de caudales de aproximación (véase la figura).

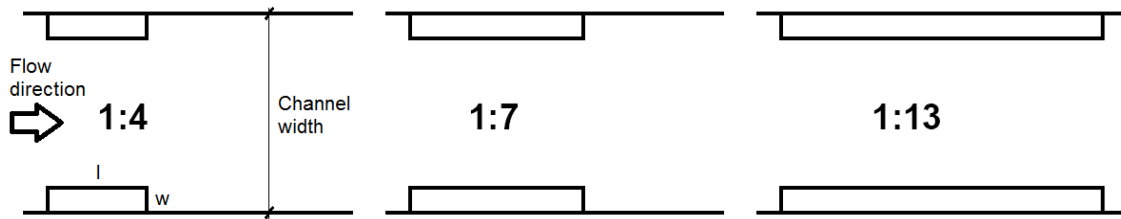


Figura 13.8 – Proporciones de los pilares del puente utilizadas para evaluar la influencia del ancho de la estructura.

Los resultados numéricos indican que los cambios en la pérdida de carga total en toda la estructura son muy similares para las tres configuraciones (véase la figura siguiente).

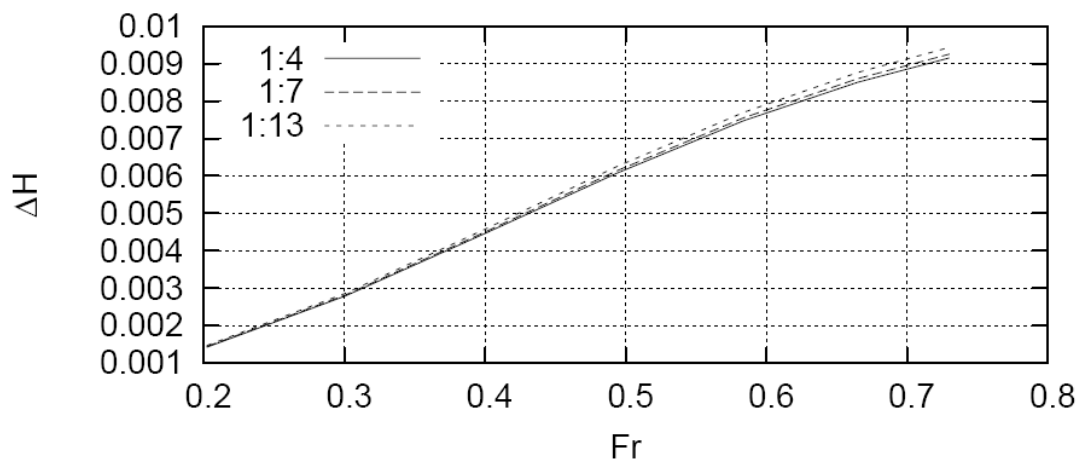


Figura 13.9 – Influencia del ancho de la estructura en el cambio de altura total (ΔH) a través del puente en función del número de Froude aguas abajo.

13.2 Pilas de puentes

El componente Bridge Piers permite contabilizar las pérdidas causadas por los pilares en el campo de flujo de una manera simplificada, sin requerir una malla refinada alrededor de la geometría real del plano de los pilares.

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.

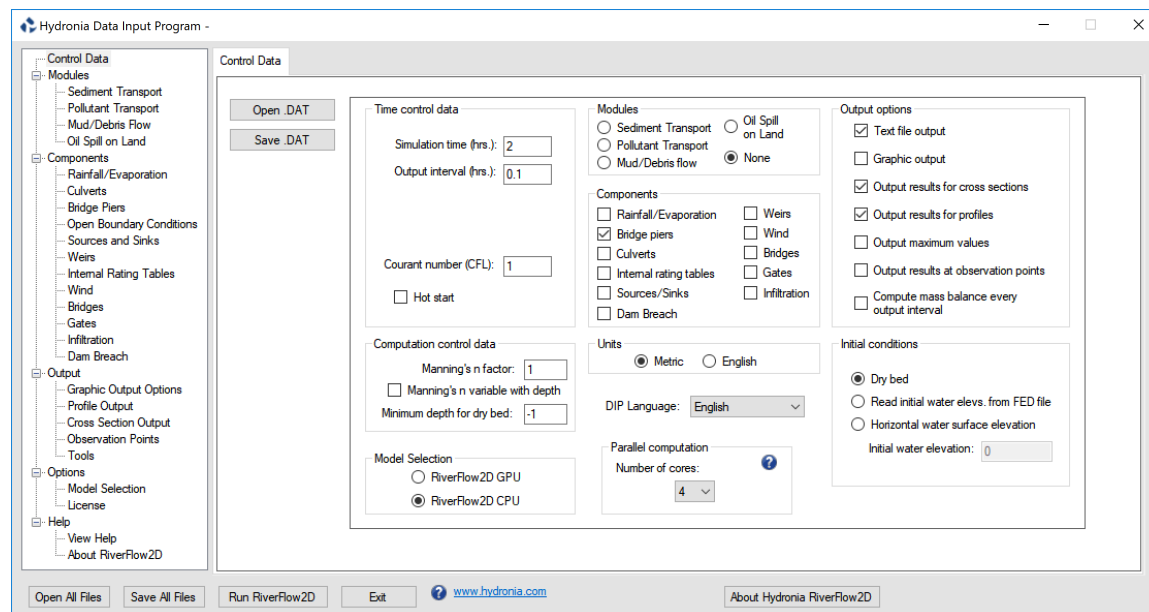


Figura 13.10 – Cuadro de diálogo DIP Control Panel con el componente Bridge Piers seleccionado.

Nota

No hay límite para la cantidad de pilares del puente que se pueden utilizar.

13.2.1 Cálculo de pilas de puentes

El componente *Bridge Piers* se puede utilizar cuando el área en planta del pilar 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 en cada pilar en función del coeficiente de arrastre, la densidad del agua, la velocidad del flujo y el área proyectada mojada del pilar, como se muestra en la ecuación:

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

Donde C_D es el coeficiente de resistencia del pilar, ρ es la densidad del agua, U es la velocidad del agua y A_P es el área húmeda del pilar proyectada normal a la dirección del flujo. Se supone que los pilares están ubicados en celdas que no necesariamente se ajustan a la geometría del pilar como se muestra en la siguiente figura.

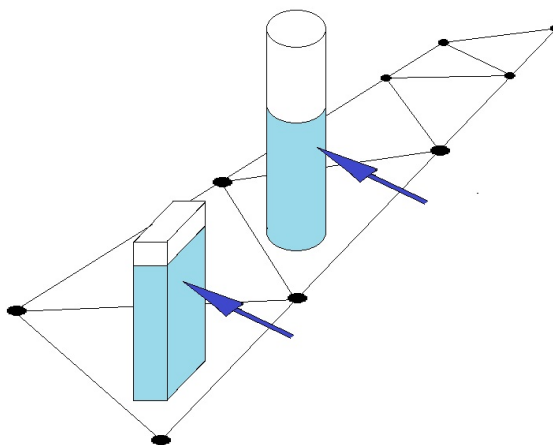


Figura 13.11 – Pilares dentro de las celdas.

Los pilares pueden ser de planta circular o rectangular. Los pilares rectangulares se ubican en celdas según las coordenadas del centro del pilar y el ángulo entre el eje a lo largo de la dimensión más grande y el eje X, como se muestra en la siguiente figura.

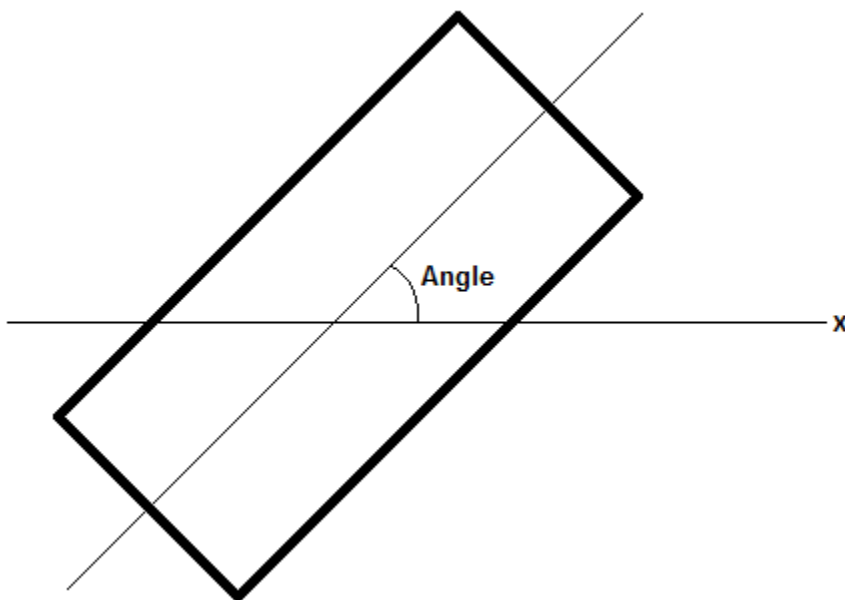


Figura 13.12 – Vista esquemática de un pilar rectangular.

Para representar pilares circulares, ingrese una longitud igual al diámetro del pilar y el coeficiente de resistencia correspondiente.

La magnitud del vector de velocidad y el ángulo de aproximación generalmente varían en el tiempo durante los cálculos de flujo inestable y se utilizan para calcular el área proyectada. Para tener en cuenta la fuerza de resistencia que el pilar ejerce sobre el flujo, HydroBID Flood la convierte en esfuerzo cortante distribuido en la celda donde se encuentra la coordenada centroide del pilar. Las expresiones resultantes del esfuerzo cortante del pilote 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 de alcantarillas

El componente de alcantarilla en HydroBID Flood permite incorporar estructuras hidráulicas unidimensionales que conducen el agua entre dos puntos de la malla, o entre un punto de la malla y otro exterior.

Para ejecutar una simulación con el componente Culverts, debe seleccionar la opción en el panel *Control Data* del cuadro de diálogo DIP como se muestra en la Figura.

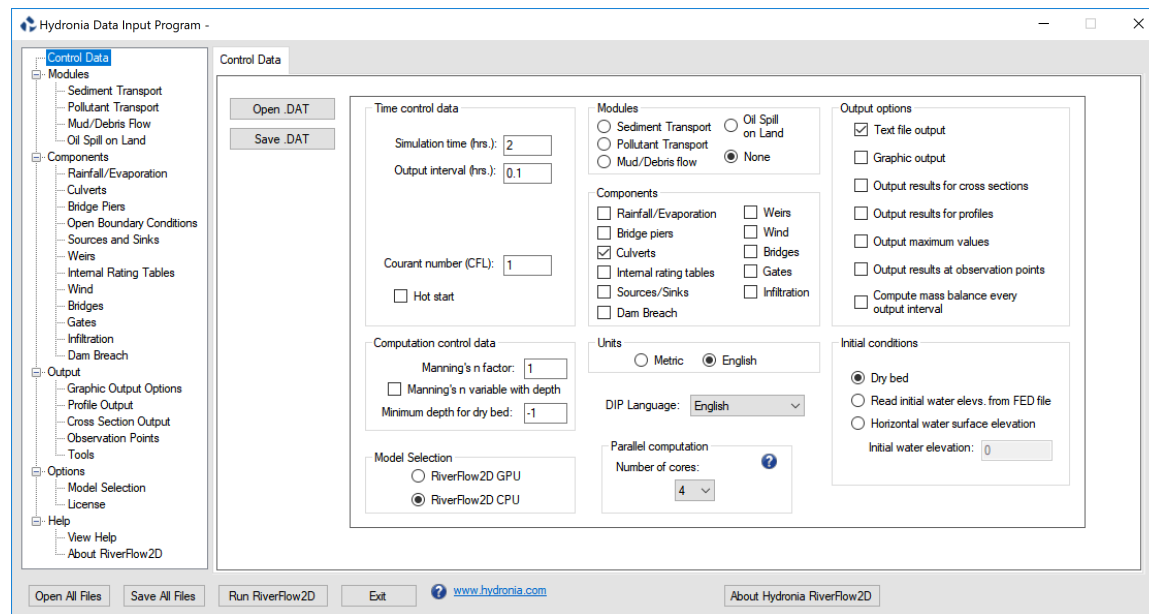


Figura 13.13 – Cuadro de diálogo DIP *Global Parameters* con el componente de alcantarillas seleccionado.

Hay dos opciones para calcular la descarga de la alcantarilla en HydroBID Flood. Cuando el usuario selecciona el cálculo de la tabla de clasificación y proporciona una tabla de clasificación en el archivo asociado, el modelo determina la descarga por interpolación en función de la profundidad aguas arriba. Si el usuario ingresa el cálculo de la alcantarilla utilizando las características de la alcantarilla, el modelo calculará la descarga en función de las características geométricas de la alcantarilla proporcionadas en el archivo. Ambos procedimientos se describen con más detalle a continuación.

Nota

No hay límite para la cantidad 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 clasificación, 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 según las elevaciones de la superficie del agua en cada extremo de la alcantarilla.
2. Interpolarse la descarga de flujo de la tabla de clasificación usando la profundidad en la entrada de la alcantarilla,
3. Si la profundidad en la entrada de la alcantarilla es menor que el valor mínimo en la tabla de clasificación, entonces se supone que la descarga es cero.
4. Si la profundidad en la entrada es mayor que el valor máximo en la tabla de clasificación, entonces se supone que la descarga es igual a la de la profundidad máxima.
5. La descarga calculada 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 1 y 2 de CulvertType, el modelo calculará la descarga de la alcantarilla para el control de entrada y salida utilizando el procedimiento 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 barriles idénticos, C_c es un coeficiente de descarga que depende del control de flujo y 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 de entrada y $H_c = WSEL_h - WSE_{tw}$ para el control de salida, $WSEL_h$ es la elevación de la superficie del agua en la entrada de la alcantarilla, Z_{bi} es la elevación invertida de la entrada, WSE_{tw} es la elevación del agua aguas abajo (agua de cola). Para el cálculo del control de 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 la cabecera. D_c es el diámetro de la alcantarilla para alcantarillas circulares y la dimensión alta para alcantarillas de caja, $m = 0.7$ para entradas en

inglete y $m = -0.5$ para todas las demás entradas. Para el control de 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 de entrada que se puede obtener de la tabla correspondiente, n_c es el n de Manning obtenido de la tabla correspondiente, L_c es la longitud de la alcantarilla y Y , K' , M , c' son coeficientes de control de entrada (véase la tabla correspondiente).

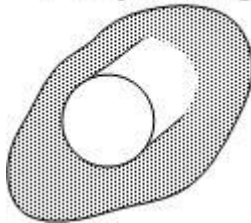
- **Concreto:** Juntas buenas, paredes lisas; 0.012
- **Saliente desde el relleno, extremo de corte recto:** 0.015
- **Juntas deficientes, paredes rugosas:** 0.017
- **Metal corrugado:** corrugaciones de 2-2/3 pulgadas $\times$ 1/2 pulgada; 0.025
- **Corrugaciones de 6 pulgadas $\times$ 1 pulgada:** 0.024
- **Corrugaciones de 5 pulgadas $\times$ 1 pulgada:** 0.026
- **Corrugaciones de 3 pulgadas $\times$ 1 pulgada:** 0.028
- **Corrugaciones de 6 pulgadas $\times$ 2 pulgadas:** 0.034
- **Corrugaciones de 9 pulgadas $\times$ 2-1/2 pulgadas:** 0.035
- **Tubería de concreto:** Saliente desde el relleno, extremo ranurado; 0.2
- **Saliente desde el relleno, extremo de corte recto:** 0.5
- Cabecera o cabecera con muros laterales (sacos de arena de concreto o cemento)
- **Extremo de tubería ranurado:** 0.2
- **Extremo de tubería de corte recto:** 0.5
- **Extremo de tubería redondeado:** 0.1
- **Extremo en inglete que se ajusta a la pendiente del terraplén:** 0.7
- Sección terminal fabricada de metal o concreto que se ajusta a la pendiente del terraplén
- **Sin rejilla:** 0.5
- **Con rejilla:** 0.7
- **Tubería de metal corrugado o sección tipo arco:** Saliente desde el terraplén (sin cabecera); 0.9
- **Cabecera con o sin muros laterales (sacos de arena de concreto o cemento):** 0.5
- **Extremo en inglete que se ajusta a la pendiente del terraplén:** 0.7
- Sección terminal fabricada de metal o concreto que se ajusta a la pendiente del terraplén

- **Sin rejilla:** 0.5
- **Con rejilla:** 0.7
- **Caja de concreto reforzado:** Cabecera paralela al terraplén (sin muros laterales)
- **Borde recto en tres lados:** 0.5
- **Borde redondeado en tres lados con un radio de 1/12 de la dimensión del conducto:** 0.2
- Muros laterales a 30 ° a 75 ° respecto del conducto
- **Borde recto en la corona:** 0.4
- **Borde de corona redondeado con un radio de 1/12 de la dimensión del conducto:** 0.2
- Muros laterales a 10 ° a 30 ° respecto del conducto
- **Borde recto en la corona:** 0.5
- Muros laterales paralelos al terraplén
- **Borde recto en la corona:** 0.7
- Circular **Concreto**:: Cabecera; borde cuadrado; 0.3153; 2.0000; 1.2804; 0.6700
- Circular **Concreto**:: Cabecera; borde ranurado; 0.2509; 2.0000; 0.9394; 0.7400
- Circular **Concreto**:: Saliente; borde ranurado; 0.1448; 2.0000; 1.0198; 0.6900
- Circular **Metal corrugado**:: Cabecera; 0.2509; 2.0000; 1.2192; 0.6900
- Circular **Metal corrugado**:: Inglete a pendiente; 0.2112; 1.3300; 1.4895; 0.7500
- Circular **Metal corrugado**:: Saliente; 0.4593; 1.5000; 1.7790; 0.5400
- Circular **Concreto**:: Anillo biselado; biseles de 45 °; 0.1379; 2.5000; 0.9651; 0.7400
- Circular **Concreto**:: Anillo biselado; biseles de 33.7 °; 0.1379; 2.5000; 0.7817; 0.8300
- **Concreto:** Rectangular; Muros laterales; abocinamientos de 30 ° a 75 °; borde cuadrado; 0.1475; 1.0000; 1.2385; 0.8100
- **Concreto:** Rectangular; Muros laterales; abocinamientos de 90 ° y 15 °; borde cuadrado; 0.2242; 0.7500; 1.2868; 0.8000
- **Concreto:** Rectangular; Muros laterales; abocinamientos de 0 °; borde cuadrado; 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; Cabecera; chaflanes de 3/4 de pulgada; 1.6389; 0.6670; 1.2064; 0.7900
- **Concreto:** Rectangular; Cabecera; biseles de 45 °; 1.5752; 0.6670; 1.0101; 0.8200
- **Concreto:** Rectangular; Cabecera; biseles de 33.7 °; 1.5466; 0.6670; 0.8107; 0.8650
- **Concreto:** Rectangular; Cabecera; sesgo de 45 °; chaflanes de 3/4 de pulgada; 1.6611; 0.6670; 1.2932; 0.7300
- **Concreto:** Rectangular; Cabecera; sesgo de 30 °; chaflanes de 3/4 de pulgada; 1.6961; 0.6670; 1.3672; 0.7050
- **Concreto:** Rectangular; Cabecera; sesgo de 15 °; chaflanes de 3/4 de pulgada; 1.7343; 0.6670; 1.4493; 0.6800
- **Concreto:** Rectangular; Cabecera; sesgo de 10 a 45 °; biseles de 45 °; 1.5848; 0.6670; 1.0520; 0.7500
- **Concreto:** Rectangular; Muros laterales; sin desplazamiento de 45 °/abocinamientos; 1.5816; 0.6670; 1.0906; 0.8030
- **Concreto:** Rectangular; Muros laterales; sin desplazamiento de 18.4 °/abocinamientos; chaflanes de 3/4 de pulgada; 1.5689; 0.6670; 1.1613; 0.8060
- **Concreto:** Rectangular; Muros laterales; sin desplazamiento de 18.4 °/abocinamientos; conducto sesgado de 30 °; 1.5752; 0.6670; 1.2418; 0.7100
- **Concreto:** Rectangular; Muros laterales; con desplazamiento de 45 °/abocinamientos; borde superior biselado; 1.5816; 0.6670; 0.9715; 0.8350
- **Concreto:** Rectangular; Muros laterales; con desplazamiento de 33.7 °/abocinamientos; borde superior biselado; 1.5752; 0.6670; 0.8107; 0.8810
- **Concreto:** Rectangular; Muros laterales; con desplazamiento de 18.4 °/abocinamientos; bisel del borde superior; 1.5689; 0.6670; 0.7303; 0.8870
- **Metal corrugado:** Rectangular; Cabecera; 0.2670; 2.0000; 1.2192; 0.6900
- **Metal corrugado:** Rectangular; Saliente; pared gruesa; 0.3023; 1.7500; 1.3479; 0.6400
- **Metal corrugado:** Rectangular; Saliente; pared delgada; 0.4593; 1.5000; 1.5956; 0.5700
- Circular **Concreto:**; Garganta cónica; 1.3991; 0.5550; 0.6305; 0.8900
- Circular **Metal corrugado:**; Garganta cónica; 1.5760; 0.6400; 0.9297; 0.9000
- **Concreto:** Rectangular; Garganta cónica; 1.5116; 0.6670; 0.5758; 0.9700
- Circular **Concreto:**; Cabecera; borde cuadrado; 0.3153; 2.0000; 1.2804; 0.6700
- Circular **Concreto:**; Cabecera; borde ranurado; 0.2509; 2.0000; 0.9394; 0.7400
- Circular **Concreto:**; Saliente; borde ranurado; 0.1448; 2.0000; 1.0198; 0.6900

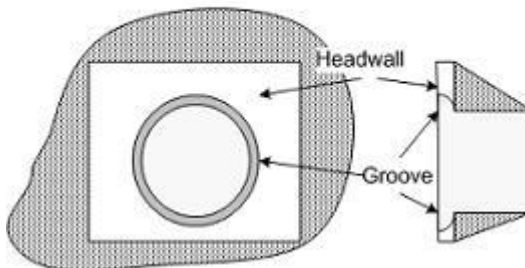
- Circular **Metal corrugado**:: Cabecera; 0.2509; 2.0000; 1.2192; 0.6900
- Circular **Metal corrugado**:: Inglete a pendiente; 0.2112; 1.3300; 1.4895; 0.7500
- Circular **Metal corrugado**:: Saliente; 0.4593; 1.5000; 1.7790; 0.5400
- Circular **Concreto**:: Anillo biselado; biseles de 45 °; 0.1379; 2.5000; 0.9651; 0.7400
- Circular **Concreto**:: Anillo biselado; biseles de 33.7 °; 0.1379; 2.5000; 0.7817; 0.8300
- **Concreto**: Rectangular; Muros laterales; abocinamientos de 30 ° a 75 °; borde cuadrado; 0.1475; 1.0000; 1.2385; 0.8100
- **Concreto**: Rectangular; Muros laterales; abocinamientos de 90 ° y 15 °; borde cuadrado; 0.2242; 0.7500; 1.2868; 0.8000
- **Concreto**: Rectangular; Muros laterales; abocinamientos de 0 °; borde cuadrado; 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; Cabecera; chaflanes de 3/4 de pulgada; 1.6389; 0.6670; 1.2064; 0.7900
- **Concreto**: Rectangular; Cabecera; biseles de 45 °; 1.5752; 0.6670; 1.0101; 0.8200

Projecting



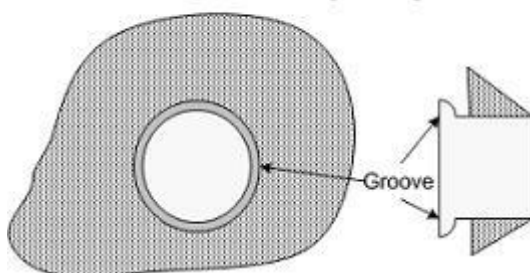
- : El extremo del cañón de la alcantarilla sobresale del terraplén.

Grooved Pipe with Headwalls



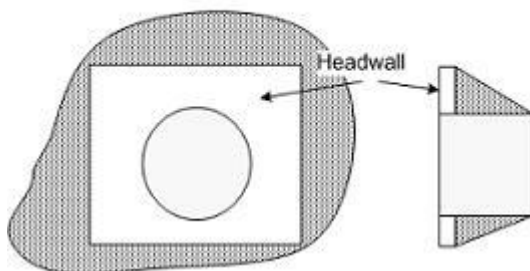
- : El tubo ranurado para alcantarillas de hormigón disminuye las pérdidas de energía a través de la entrada de la alcantarilla.

Grooved Pipe Projecting



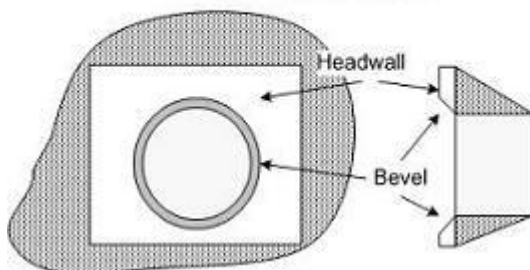
- : Esta opción es para alcantarillas de tuberías de hormigón.

Square Edge with Headwalls



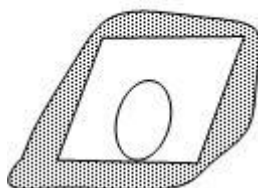
- : El borde cuadrado con el muro cabecera es una condición de entrada donde la entrada de la alcantarilla está al ras con el muro cabecera.

Beveled Edge with Headwalls

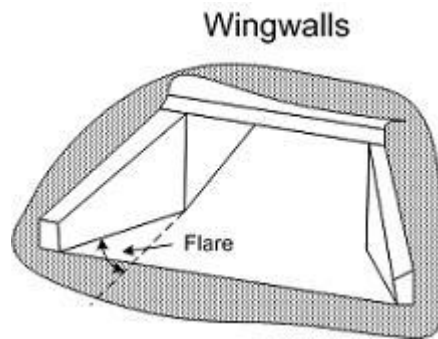


- : 'Bordes biselados' es un borde de entrada cónico que disminuye la pérdida de carga cuando el flujo ingresa al cilindro de la alcantarilla.

Mitered



- : La entrada en inglete es cuando el barril de la alcantarilla se corta para que quede al ras con la pendiente del terraplén.



- : Los muros laterales se utilizan cuando la alcantarilla es más corta que el terraplén y evita que el material del terraplén caiga dentro de la alcantarilla.

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

1. Si al menos uno de los extremos de la alcantarilla está mojado, determine la dirección del flujo según las elevaciones de la superficie del agua en cada extremo de la alcantarilla.
2. Calcule la descarga de la alcantarilla utilizando fórmulas de control de entrada.
3. Calcule la descarga de la alcantarilla utilizando fórmulas de control de salida.
4. Seleccione la descarga mínima de las descargas de control de entrada y salida.
5. Si la profundidad en la entrada de la alcantarilla es menor que el valor mínimo en la tabla de clasificación, entonces se supone que la descarga es cero.
6. La descarga calculada se resta de la celda de entrada y se suma a la celda de salida suponiendo una transmisión instantánea del volumen de agua.

Nota

Cuando se utiliza CulvertType 1 o 2, ambos extremos de la alcantarilla deben estar dentro de la malla.

13.3.3 Supuestos de los cálculos de alcantarillas

1. Se utilizará la misma tabla de clasificación para interpolar la descarga independientemente de la dirección del flujo. En otras palabras, si el flujo es de la celda A a la celda B en algún momento durante la simulación, la profundidad en A se usará para interpolar la descarga de A a B, pero si en algún otro momento el flujo cambia de B a A, la descarga se interpolará usando la profundidad en B.
2. No hay control de salida en el cálculo de descarga de la tabla de clasificación.
3. Cuando se utilizan CulvertTypes 1 y 2, ambos extremos de la alcantarilla deben estar dentro de la malla. No está permitido extraer flujo del dominio de modelado cuando se utilizan estas opciones.
4. El cálculo de descarga con CulvertTypes 1 y 2 solo está disponible para alcantarillas de sección transversal circular o de caja (rectangular).
5. La entrada a una alcantarilla se considera sumergida cuando la profundidad del agua principal, H , $1.2D$, donde D es el diámetro de la alcantarilla circular o la altura de las alcantarillas tipo caja.

13.3.4 Herramienta de intercambio de volumen entre varias celdas para alcantarillas 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 generalmente da como resultado un proceso de transferencia de volumen más fluido y estable, lo que reduce efectivamente las oscilaciones y al mismo tiempo mantiene un cálculo preciso de las descargas de intercambio.

Al utilizar esta opción, la elevación del agua de entrada se calcula como el promedio de todas las celdas húmedas contenidas dentro del polígono definido. Si el volumen de intercambio para un paso de tiempo determinado excede 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 celdas múltiples es la prevención del secado de las celdas de entrada. Esto reduce significativamente las oscilaciones que ocurrían comúnmente cuando se usaba una sola celda de entrada.

Esta sección describe la herramienta utilizada para generar y editar polígonos para tipos de alcantarillas 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

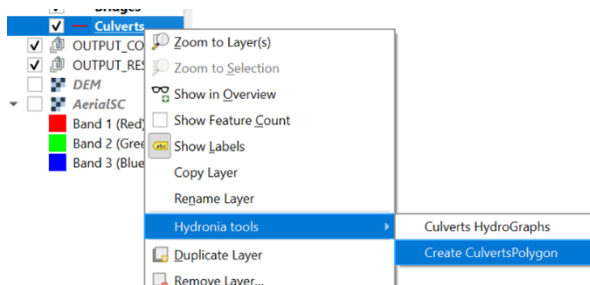
Para alcantarillas con BCType = 11, 12, 14 y 15, el marco de modelado requiere definir polígonos de entrada y salida para especificar las celdas de la cuadrícula involucradas en el proceso de intercambio de volumen. Para facilitar esto, el software incluye una herramienta dedicada que genera una capa llamada CulvertsPolygon, que contiene polígonos trapezoidales predefinidos ubicados en la entrada y salida de cada alcantarilla.

Antes de usar esta herramienta, asegúrese de que la capa Culverts se haya agregado al proyecto y que todas las alineaciones de las alcantarillas se hayan dibujado correctamente.

13.3.4.2 Creación de la capa CulvertsPolygon

Siga los pasos a continuación para crear la capa CulvertsPolygon:

1. En el panel Capas, haga clic derecho en la capa Alcantarillas.
2. Seleccione Herramientas Hydronia en el menú contextual.
3. Haga clic en Crear polígono de alcantarilla.



Una vez finalizado, se agregará 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 celdas vecinas.

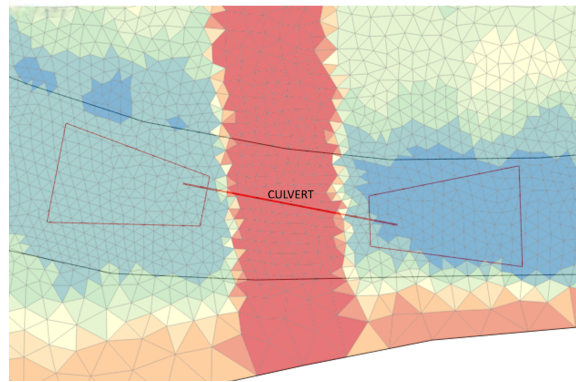


Figura 13.14 – Polígonos de alcantarilla de entrada y salida.

13.3.4.3 Edición de la capa CulvertsPolygon

Es posible que sea necesario ajustar los polígonos generados por la herramienta para que coincidan mejor con la geometría de la alcantarilla o la topografía local. Las siguientes herramientas y procedimientos están disponibles para la edición de polígonos.

Ajuste de la orientación y la posición del polígono

Para modificar la alineación de los polígonos:

1. Active la barra de herramientas de Digitalización Avanzada.
2. Cambie la capa CulvertsPolygon al modo de edición.
3. Utilice las siguientes herramientas para realizar los ajustes necesarios.
 - Girar objeto: gira el polígono alrededor de su centroide o un punto de referencia seleccionado.
 - Mover objeto: 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 le permiten alinear los polígonos con el eje de la alcantarilla con precisión.

Ajuste del tamaño del polígono

Para modificar las dimensiones de los polígonos:

1. Active la herramienta Nodo.
2. Seleccione el polígono a editar.
3. Arrastre los nodos o vértices individuales para remodelar o cambiar el tamaño del polígono.

El ajuste del tamaño del polígono 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 se alineen correctamente con la alcantarilla y cubran completamente las celdas computacionales previstas.
- Después de editar, recuerde guardar las ediciones de la capa antes de continuar con la configuración.
- Evite estirar o distorsionar excesivamente los polígonos, ya que esto puede afectar el comportamiento del modelo.

13.4 Componente de compuertas

Los componentes GATES permiten integrar puertas dentro de la región de modelado. Cada puerta debe definirse en términos de su alineación en planta, elevación de la cresta (Z_c), altura de la puerta (H_{gate}) y el historial temporal de las aperturas (H_a) presentado como una tabla en un archivo asociado a cada estructura (véase la figura siguiente). La figura muestra los modos de flujo que se pueden calcular a través de compuertas que incluyen inmersión y desbordamiento.

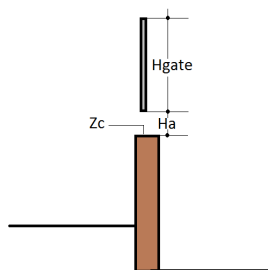


Figura 13.15 – Vista esquemática de corte perpendicular a la estructura de una puerta.

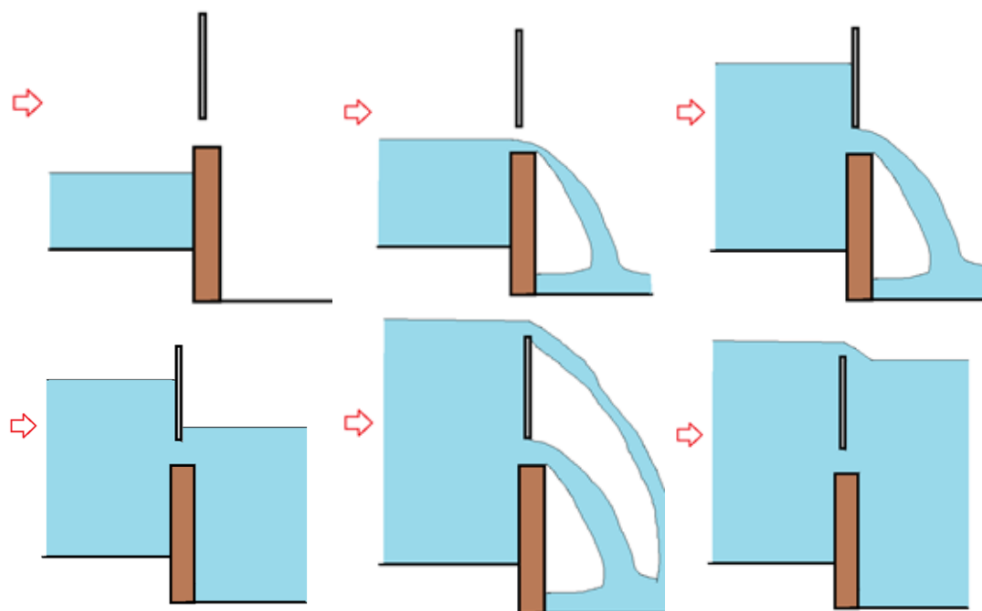


Figura 13.16 – Modos de flujo a través de compuertas.

Para ejecutar una simulación con el componente de puertas, debe seleccionar la opción en el panel *Control Data* de DIP como se muestra en la figura siguiente.

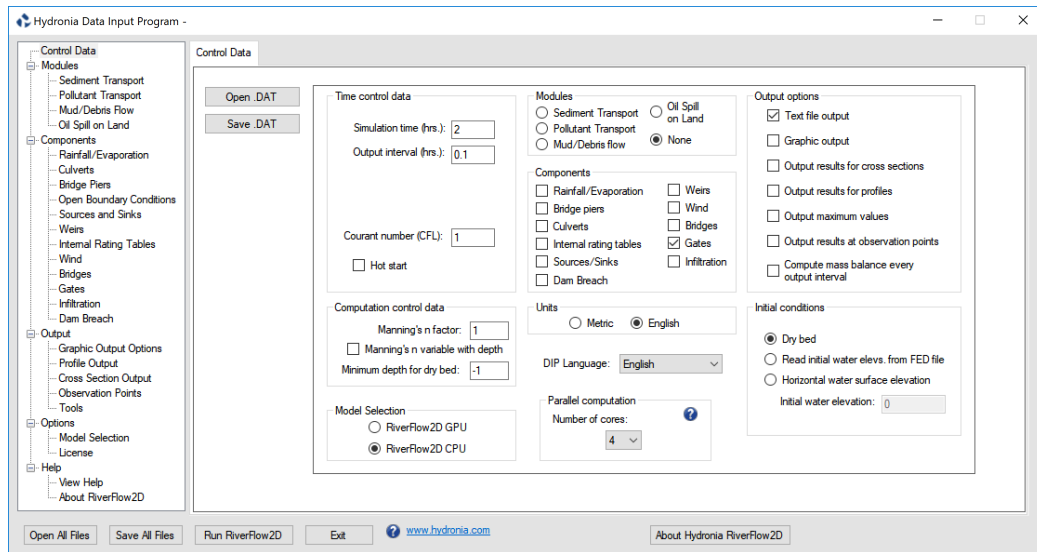


Figura 13.17 – Panel DIP *Control Data* con el componente Gates seleccionado.

Los datos del plan de puerta se ingresan en la capa QGIS Gates.

Dado que la polilínea de puerta debe pasar a través de nodos, es esencial que el motor de generación de malla cree nodos a lo largo de la polilínea. Esto se hace fácilmente recreando la malla.

Nota

No hay límite para la cantidad de puertas que se pueden utilizar.

13.4.1 Cálculos de compuertas

La compuerta se simula suponiendo que la descarga por unidad de ancho q que cruza la compuerta se rige por la diferencia entre el nivel de la superficie del agua ($d = h + z$) en ambos lados de la compuerta, denominada d_l aguas arriba de la compuerta y d_r aguas abajo de la compuerta, y por la apertura permitida de la compuerta, G_o . Se prevén varias situaciones. En el caso de $G_o = 0$, la puerta se comporta como una pared sólida y ningún flujo cruza la puerta. Cuando la abertura de la compuerta es mayor que el nivel del agua superficial en ambos lados, ya no influye en el flujo. En cualquier otro caso, suponiendo que $d_l < d_r$, sin pérdida de generalidad, 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 figura correspondiente, la descarga viene dada por

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

con K_1 un coeficiente de pérdida de energía. En HydroBID Flood $K_1 = 3.33$.

Cuando $G_o + \max(z_l, z_r) > \min(d_l, d_r)$, como se muestra en la figura correspondiente, la descarga

viene dada por

$$q = C_d(2/3)\sqrt{2g}[d_r - \max(z_l, z_r)]^{1/2}$$

siendo C_d el coeficiente de descarga adimensional que toma valores alrededor de 0.6.



Figura 13.18 – Niveles de agua para descarga bajo compuerta en condiciones sumergidas formulados como en (G1).



Figura 13.19 – Niveles de agua para descarga bajo compuerta en condiciones sumergidas formulados como en (G2).

13.5 Lluvia y evaporación

Esta sección y la siguiente sobre infiltración describen los cálculos hidrológicos implementados en HydroBID Flood. El componente incluye capacidades para integrar la lluvia, la evaporación y la infiltración en las simulaciones del modelo. Puede utilizar estos componentes para realizar simulaciones hidrológicas con las siguientes opciones:

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

Siga el Tutorial de lluvia, evaporación e infiltración que explica cómo configurar una simulación hidrológica de principio a fin.

Las precipitaciones se tratan como un término fuente simple. Representa una entrada adicional a la profundidad del agua de la celda en el paso anterior del cálculo del flujo. Puede configurar eventos de lluvia locales para varias regiones de la cuenca. Esto permite simular casos más realistas, en los que se dispone de datos de varios pluviómetros.

Nota

En HydroBID Flood la lluvia se impone antes de calcular la infiltración. Esto es importante porque la capacidad de infiltración depende en gran medida de la intensidad de la lluvia, como veremos en el siguiente apartado.

13.6 Infiltración

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

Nota

Cuando se utiliza el componente de infiltración sin lluvia, solo se pueden usar los métodos de Horton o Green-Ampt, ya que toman en cuenta el agua superficial existente para determinar las tasas de infiltración aunque no haya precipitación. El método SCS-CN calcula la infiltración en función de la precipitación proporcionada y no considera el agua estancada.

13.6.1 Modelo de infiltración de Horton

El modelo de infiltración de Horton sugiere 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. Las tablas siguientes resumen valores experimentales de estos parámetros para distintos tipos de suelo. Tenga en cuenta 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, francos arcillosos limosos:** 1.27
- **Franco arcilloso arenoso:** 1.3 - 3.8
- **Franco limoso, franco:** 3.8 - 7.6
- **Arena, arena franca, suelos franco-arenosos:** 7.6 - 11.4

La ecuación debe aplicarse después del encharcamiento superficial. En otras palabras, estamos asumiendo condiciones de suministro ilimitado de agua en la superficie. Bajo esta consideración, la infiltración acumulada hasta el tiempo t se puede calcular 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 resaltar 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 ($R \leq f_p$), entonces toda la lluvia se infiltrará en el suelo. Por otro lado, si la lluvia excede la capacidad de infiltración del suelo o si la superficie se encharca, 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 estanqueidad.

Siguiendo este enfoque, para los dos primeros intervalos de lluvia la intensidad es menor que la capacidad de infiltración, por lo que la tasa de infiltración real es igual a la tasa de lluvia. Debido a esto, la capacidad de infiltración real no disminuye como lo indica la ecuación de Horton. La razón, como se indicó anteriormente, es que el modelo de Horton supone que el suministro de agua siempre excede la capacidad de infiltración desde el principio. Por lo tanto, el suelo conserva una mayor capacidad de infiltración y debemos calcular la infiltración real en $t = 20$ min; para ello, es necesario 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 (que es igual al volumen de lluvia) hasta este momento 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 infiltrada real, no sólo 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 la lluvia excede la capacidad de infiltración del suelo, la tasa de infiltración real es igual a esta capacidad y decae siguiendo la ecuación de Horton, sustituyendo $f_c = f_p$ y $t = t - t'$, donde t' es el instante en que la intensidad de la lluvia excede la capacidad de infiltración del suelo:

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

Hay que tener en cuenta una consideración adicional. Es posible que la capacidad de infiltración recalculada sea mayor que la intensidad de la lluvia. Esto implica una situación no física con almacenamiento negativo o escorrentía. La razón de este comportamiento es que el suelo no puede infiltrar más que la precipitación pluvial, por lo que se debe imponer un límite en la capacidad de infiltración recalculada:

$$f_p \leq R$$

13.6.2 Modelo de infiltración de Green-Ampt

El modelo de infiltración Green-Ampt es un modelo simple 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 del suelo más comunes se muestran en la tabla siguiente.

- **Sand:** 0.437 (0.374 - 0.500); 4.95 (0.97 - 25.36); 7.8
- **Loamy sand:** 0.437 (0.363 - 0.506); 6.13 (1.35 - 27.94); 2.99
- **Sandy loam:** 0.453 (0.351 - 0.565); 11.01 (2.67 - 45.47); 1.09
- **Loam:** 0.463 (0.375 - 0.551); 8.89 (1.33 - 59.38); 0.66
- **Silt loam:** 0.501 (0.420 - 0.582); 16.68 (2.92 - 95.39); 0.34
- **Sandy clay loam:** 0.398 (0.332 - 0.464); 21.85 (4.42 - 108.0); 0.15
- **Clay loam:** 0.464 (0.409 - 0.519); 20.88 (4.79 - 91.10); 0.10
- **Silty clay loam:** 0.471 (0.418 - 0.524); 27.30 (5.67 - 131.50); 0.10
- **Sandy clay:** 0.430 (0.370 - 0.490); 23.90 (4.08 - 140.2); 0.06
- **Silty clay:** 0.479 (0.425 - 0.533); 29.22 (6.13 - 139.4); 0.05

El modelo Green-Ampt original parte del supuesto de que se mantiene una profundidad de encharcamiento h sobre la superficie. El método 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 altura de succión en el frente de humectación, θ_i el contenido de agua uniforme inicial y θ_s la porosidad. La integración de esta expresión proporciona la infiltración acumulada:

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

Resolver la infiltración acumulada F en la ecuación requiere un procedimiento iterativo (por ejemplo, iteraciones de Picard o el método de Newton-Raphson). La altura de succión efectiva se puede sustituir por el valor medio Ψ .

Las ecuaciones anteriores suponen que el suelo está encharcado desde el principio. Se deben tener en cuenta consideraciones adicionales para modelar un patrón de tormenta inestable. Pueden ocurrir tres posibilidades en cada paso de tiempo: 1) el encharcamiento ocurre al comienzo del intervalo; 2) no hay encharcamiento dentro del intervalo; 3) se produce encharcamiento 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 momento t . A partir de ese valor:

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

El resultado de la ecuación anterior se compara con la intensidad de la lluvia i . Si $f_p \leq i$, ocurre el caso 1 y la infiltración acumulada al final del intervalo viene dada por la ecuación siguiente. 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 estanqueidad al comienzo 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 un valor tentativo para la infiltración acumulada al final del período se puede calcular como:

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

A partir de las ecuaciones anteriores se puede calcular una capacidad de infiltración tentativa $f'_{p,t+\Delta t}$. Si $f'_{p,t+\Delta t} > i$, no hay encharcamiento durante el intervalo, la suposición es correcta y el problema corresponde a la situación 2; por tanto, $F'_{t+\Delta t} = F_{t+\Delta t}$. Si $f'_{p,t+\Delta t} \leq i$, hay 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:

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

Luego, el tiempo transcurrido hasta el encharcamiento se calcula como $t + \Delta t'$, donde:

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

Finalmente, la infiltración acumulada se puede encontrar sustituyendo $F = F_p$ y $\Delta t = \Delta t - \Delta t'$ en la ecuación anterior.

13.6.3 Modelo SCS-CN

El modelo de escorrentía del Número de curva del Servicio de Conservación del Suelo (SCS-CN) fue desarrollado originalmente por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales del USDA para estimar la escorrentía de eventos de lluvia en cuencas agrícolas. Actualmente también se utiliza para hidrología urbana. El principal parámetro del método es el Número de Curva (CN), que es esencialmente un coeficiente para reducir la precipitación total a escorrentía o potencial hídrico 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 , captación inicial de agua que se infiltra antes de que comience la escorrentía I_a y retención máxima potencial S . Por tanto, la escorrentía potencial se puede calcular como $RV - I_a$. La principal hipótesis del método SCS-CN es asumir relaciones iguales entre las cantidades reales y las cantidades potenciales, de la siguiente manera:

$$\frac{F}{S} = \frac{RO}{RV - I_a}$$

Por otro lado, el balance de masas de agua en la cuenca nos lleva a:

$$RV = RO + F + I_a$$

Combinando las ecuaciones anteriores y teniendo en cuenta que la escorrentía no puede iniciarse 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:

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

La abstracción inicial se supone 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 una amplia gama de valores que funcionan mejor que este valor, dependiendo de las propiedades del suelo. Este parámetro se puede cambiar en HydroBID Flood, y su influencia en el escurrimiento del agua fue estudiada en Caviedes et al.

Para determinar los números de curva apropiados, recomendamos seguir las pautas proporcionadas por el SCS.

Es importante señalar que el método SCS-CN no fue diseñado para considerar el tiempo. A continuación, cuando el método se implementa en un simulador complejo, se utiliza una metodología de avance en el tiempo. El método no se aplica a toda la cuenca. La escorrentía se calcula para cada celda en cada paso de tiempo, utilizando la lluvia acumulada desde el comienzo de la tormenta.

El método SCS-CN se puede ampliar para estimar la distribución temporal de las pérdidas de agua. Combinando de nuevo las ecuaciones anteriores y despejando F :

$$F = \frac{S(RV - I_a)}{RV - I_a + S}, \quad RV \geq I_a$$

Al derivar esta expresión, 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 de la siguiente manera:

$$R = \frac{dRV}{dt}$$

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 anterior del suelo antes del evento de tormenta y su influencia en el escurrimiento del agua. 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 promedio (AMC II) o condiciones húmedas (AMC III), como se resume en la tabla siguiente.

- **I:** Menos de 13 mm; Menos de 36 mm
- **II:** 13 mm a 28 mm; 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 mediante las ecuaciones siguientes:

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

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

Por otro lado, algunas referencias más recientes recomiendan utilizar una tabla de datos empíricos para calcular ambos valores.

13.7 Componente de viento

La tensión del viento se suma al vector del término fuente de las ecuaciones de momento de la siguiente manera:

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

dónde

$$S_{wx} = C_d \frac{\rho_a}{\rho_w} u|U| \quad S_{wy} = C_d \frac{\rho_a}{\rho_w} v|U|$$

siendo $U = (u, v)$ el vector velocidad del viento, ρ_a y ρ_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 que C_d es 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 da en m/s. Para velocidades del viento que varían de 1 a 25 m/s C_d estaría entre 0.0008 y 0.0024 aproximadamente. Powell, 2008, sugirió que el rango C_d en aguas poco profundas es de 0.00095 a 0.00157, con valores que podrían llegar a 0.0045 para tormentas severas. Tenga en cuenta que normalmente la velocidad del viento se obtiene en formato de ángulo/magnitud (ϕ, U), y la convención meteorológica es proporcionar la dirección desde la que sopla el viento en el sentido de las agujas del reloj. En esta convención, un viento del norte tendría un ángulo de 0 grados, mientras que un viento del este sería 90 grados y así sucesivamente. Para calcular los componentes del vector de velocidad del viento (u, v) basados en (ϕ, U), puede aplicar estas fórmulas:

$$u = -U \sin(\phi) \quad v = -U \cos(\phi) \quad \text{with } U = \sqrt{u^2 + v^2}$$

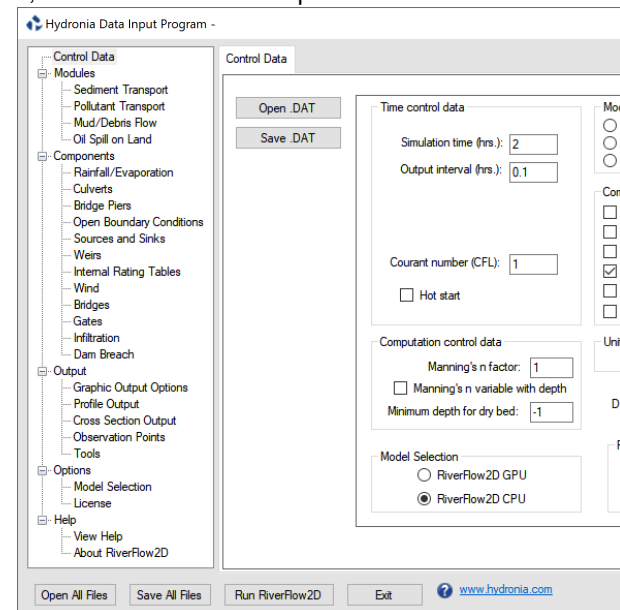
13.8 Tablas de aforo internas

Las tablas de clasificación interna son una condición interna a lo largo de una polilínea donde el modelo impone la elevación del agua interpolada a partir de la descarga calculada a partir de una tabla de clasificación proporcionada por el usuario.

Nota

Si la tabla de clasificación no es totalmente compatible con el flujo 2D calculado, los resultados pueden ser erróneos. Se sugiere utilizar esta condición con cuidado para evitar inconsistencias.

Para ejecutar una simulación con tablas de clasificación interna, debe seleccionar la opción en el



panel *Control Data* de DIP que se muestra en la figura siguiente.

Los datos del plan de la Tabla de calificación interna (IRT) se ingresan en la capa de la tabla de calificación interna de QGIS.

Nota

No hay límite para la cantidad de Tablas de Calificación Interna que se pueden utilizar.

13.8.1 Cálculos de tablas de aforo internas

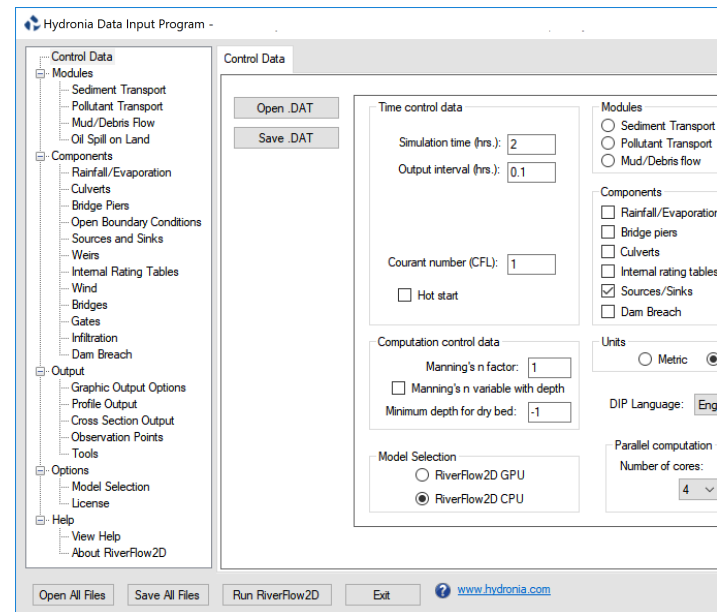
Se implementa una tabla de clasificación interna como un conjunto de valores de caudal total en función del nivel de la superficie del agua $Q = Q(h + z)$. Esta tabla se define a lo largo de una polilínea en la malla. Primero, se calcula un nivel promedio común de la superficie del agua considerando todas las celdas aguas arriba a lo largo de la polilínea. Luego, la descarga se impone en las celdas que comparten los bordes a ambos lados de la polilínea de acuerdo con el nivel superficial común del agua aguas arriba y siguiendo la tabla de clasificación interna. El algoritmo de cálculo del IRT funciona de la siguiente manera: 1. Para cada intervalo de tiempo de cálculo, estime un nivel promedio de la superficie del agua en cada lado de la polilínea IRT. 2. Calcule la descarga que pasa a través de la polilínea IRT a partir de los niveles promedio de agua en 1 usando la tabla de clasificación. 3. Defina una velocidad promedio a partir de la descarga y el área mojada de la sección transversal. 4. Asigne una descarga unitaria común a cada par de celdas que comparten un segmento de polilínea.

Nota

Algunas configuraciones de polilíneas IRT inapropiadas o polilíneas muy largas pueden restringir excesivamente el modelo y deben evitarse.

13.8.2 Supuestos de los cálculos de tablas de aforo internas

La tabla de clasificación no tiene en cuenta el control de salidas. ## Fuentes y sumideros El componente Fuentes y Sumideros permite contabilizar entradas puntuales (fuente) o salidas (sumidero) de agua en la malla. Esto permite simular, por ejemplo, tomas de agua en cualquier lugar de la malla. Para ejecutar una simulación con Fuentes o Sumideros, debe seleccionar la opción en el panel Con-



Control Data de DIP como se muestra en la figura siguiente.

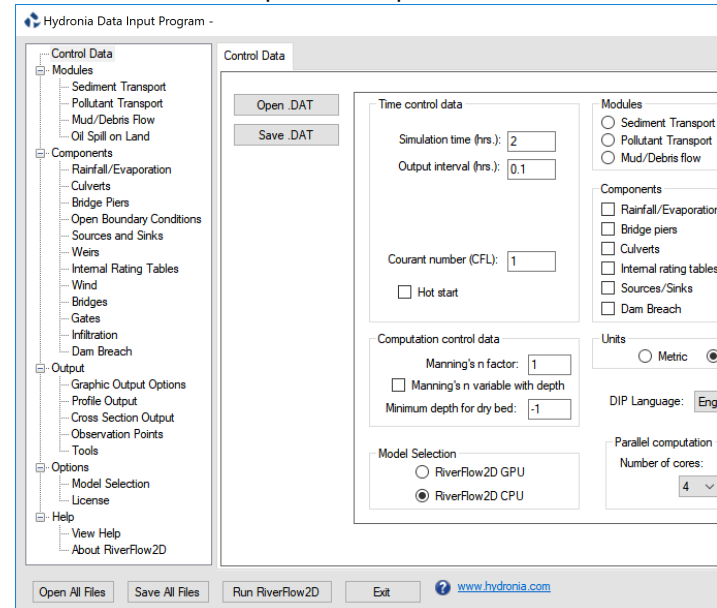
Los datos de fuentes y sumideros se ingresan en la capa HydroBID Flood Sources.

Nota

No hay límite para la cantidad de fuentes y sumideros que se pueden utilizar.

13.9 Vertederos

El componente HydroBID Flood *Weirs* puede resultar útil cuando se intenta simular un desbordamiento de un dique o de una carretera. La herramienta permite definir una polilínea que representa la alineación de la estructura y asignar elevaciones de cresta 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.



Control Data de DIP como se muestra en la figura siguiente.

Los datos del plan de vertedero se ingresan en la capa QGIS *Weirs*. Dado que HydroBID Flood

requiere que el vertedero pase a través de nodos, es esencial que el motor de generación de malla cree nodos a lo largo de la polilínea del vertedero. Para lograrlo, recuerde siempre volver a mallar después de cambiar cualquier elemento de vertedero en la capa *Weirs*.

Nota

No hay límite para la cantidad de vertederos que se pueden utilizar.

13.9.1 Cálculos de vertederos

El algoritmo de cálculo del vertedero funciona de la siguiente manera: 1. Para cada intervalo de tiempo de cálculo, el modelo verifica 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 húmeda y que la elevación de la superficie del agua esté por encima de la elevación de la cresta. 2. Luego el modelo calcula la elevación del agua en cada segmento de 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 en ambos lados están por debajo del nivel del vertedero, $MAX(d_L, d_R) \leq d_w$, el componente de velocidad normal a la dirección del segmento del vertedero se establece en cero.
4. De lo contrario, el modelo calcula el caudal normal para el segmento según los niveles de agua en ambos lados.
5. La descarga se impone tanto en el borde compartido como en las celdas.

El vertedero se simula suponiendo que la descarga por unidad de ancho q que cruza el vertedero se rige por la diferencia entre el nivel de la superficie del agua ($d = h + z$) en ambos lados del vertedero, denominado d_l aguas arriba y d_r aguas abajo del vertedero, y por la elevación de la cresta del vertedero, H_w . Se tienen en cuenta varias situaciones. En el caso de que ambas elevaciones de agua estén por debajo de la elevación de la cresta del vertedero, el vertedero se comporta como una pared sólida y ningún flujo la cruza. 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

$$q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{2g} (d_r - d_l)^{3/2}$$

siendo C_d el coeficiente de descarga del vertedero adimensional que toma valores 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 cálculos de vertederos

La elevación de la cresta del vertedero puede variar a lo largo del vertedero, pero debe ser más alta que ambas celdas opuestas a cada segmento del vertedero.

13.10 Modelado de rotura de presa

El componente HydroBID Flood Dam Breach proporciona una manera de simular una brecha gradual de obstrucciones lineales internas como presas, diques, etc. Se proporcionan tres métodos: brecha prescrita, formación de brecha por desbordamiento de erosión y formación de brecha por tubería.

Se ingresa a la presa como una polilínea arbitraria y se considera una barrera para el flujo de agua que restringe, dirige o ralentiza el flujo, lo que a menudo crea que el agua golpee río arriba.

13.10.1 Rotura de presa prescrita

En HydroBID Flood, la presa se define como una condición de límite interno y se modela como un trapecioide progresivo. Para una parametrización completa de la rotura se utilizan los siguientes parámetros y variables (véase la figura correspondiente):

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

Los casos particulares incluyen $b(t) = 0$ que reduce la brecha a un vertedero triangular, y $\alpha = 0$ representa una brecha rectangular.

Con carácter general, la descarga total por incumplimiento se calculará con una ley del tipo:

$$Q_b = C_d(2/3)\sqrt{2g}H^{3/2}$$

donde $H = h + z - H_v$, $H_v = z_{crest} - H_b$, $B(H) = b(t) + 2\frac{H_b(t)}{tg\alpha}$ y C_d es el coeficiente de descarga adimensional que toma valores entre 0.611 y 1.1 .

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

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

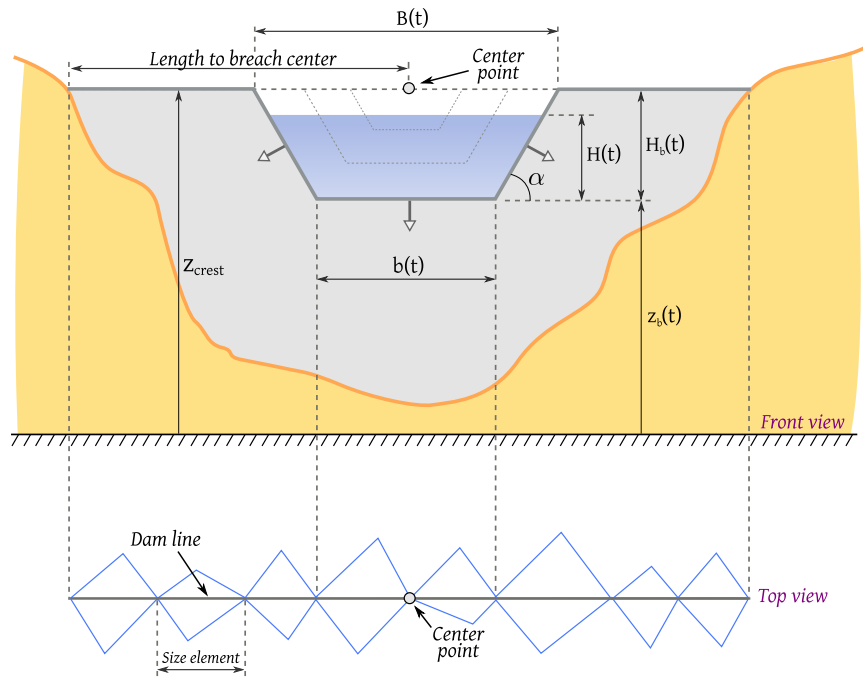


Figura 13.20 – Dimensiones esquemáticas para el modo de falla de rotura de presa prescrito.

13.10.2 Rotura de la presa por erosión de las tuberías

La evolución de la ruptura de la presa debido a la erosión de las tuberías supone que la sección transversal inicial del canal de la tubería se considera como un arco con una base rectangular en la parte inferior y un semicírculo en la parte superior, como se muestra en la figura correspondiente. Las ecuaciones de flujo en orificio y en canal abierto se utilizan para calcular la descarga para flujos de 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 de tubería arqueada se ensancha a lo largo de su ancho hasta que el suelo suprayacente no pueda mantener la estabilidad.

El colapso del techo de la tubería se determina comparando el peso del suelo suprayacente y la cohesión del suelo de 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 mueve aguas abajo instantáneamente.

Corte transversal de la expansión debida al proceso de tuberías antes del colapso de la presa (izquierda) y evolución de la brecha trapezoidal después del colapso de la presa (derecha).

13.11 Descarga de flujo a través de la sección transversal de la tubería.

Si la tubería está completamente llena de agua, la descarga se puede estimar utilizando la siguiente ecuación del orificio:

$$Q_b = A \sqrt{\frac{2g(z_s - z_b)}{1 + fL/(4R)}}$$

dónde:

- $A = b^2 + \frac{1}{8}\pi b^2$ es el área de la sección transversal de la tubería,
- b es el ancho de la base del tubo,
- $z_{pb} = z_b + \frac{1}{2}b$ 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 húmedo de la tubería,
- $f = 8gn^2 R^{-1/3}$ es el factor de fricción 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 tubería parcialmente llena, colapso del techo o desbordamiento, el caudal se calcula mediante una ecuación de flujo superficial libre:

$$Q_b = k_{sm} \left(c_r b (z_s - z_b)^{1.5} + \frac{c_t (z_s - z_b)^{2.5}}{\tan \beta} \right)$$

donde:

- k_{sm} es una corrección de inmersión adimensional para efectos de agua de cola,
- β es el ángulo del talud del lado 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 brecha, y
- $c_t = 1.2 \sqrt{m}/s$ es un coeficiente de descarga para la parte triangular de la sección de brecha.

13.12 Erosión de tuberías

Con respecto 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, toda la sección transversal de la tubería se agranda a lo largo de su altura y ancho debido a la eliminación de materiales hasta que ocurre el colapso del techo de la tubería (véase la figura correspondiente). La erosión vertical de la tubería se calcula utilizando una relación de tasa de exceso de desprendimiento:

$$\frac{dz_b}{dt} = k_d (\tau_e - \tau_c)$$

dónde:

- k_d es el coeficiente de erosión medido en la brecha,
- τ_c es la tensión crítica requerida 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
- ρ_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 se puede expresar como:

$$\frac{db}{dt} = 2k_d (\tau_e - \tau_c)$$

El colapso del techo 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 mueve 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 sobre el arco. La falla del techo ocurre si la parte superior del tubo erosionante ($z_b + 1.5b$) llega a la parte superior de la presa (z_{crest}). Por otro lado, la falla también ocurre si la fuerza motriz F_d excede la fuerza resistente del suelo F_r , como se muestra en la figura correspondiente. Por tanto, el modelo compara estas dos fuerzas a lo largo de la dirección vertical. Una vez que la fuerza impulsora (igual al peso de la parte fallida) sea mayor que la fuerza resistente, el techo sobre la tubería colapsará:

$$F_d = \rho_w g [p + G_s(1 - p)] \left(A_a b - A_c \frac{L_2 + L_3}{2} \right) + \rho_w g G_s (1 - p) A_b b$$

$$F_r = 2C (A_a + A_b)$$

donde p es la porosidad del material del suelo, $G_s = \rho_d / \rho_w$ gravedad específica del suelo, ρ_d densidad del material del suelo y C cohesión de los rellenos de la presa. Las áreas A_a , A_b y A_c se calculan de la siguiente manera:

$$A_a = \frac{L_2 + L_3}{2} (z_s - (z_b + b))$$

$$A_b = \frac{L_1 + L_2}{2} (z_{crest} - z_s)$$

$$A_c = \frac{1}{8} \pi b^2$$

donde:

- L_1 el ancho de la cresta de la presa,
- $L_2 = L_1 + \frac{z_{crest} - z_s}{\tan \alpha_{uw}} + \frac{z_{crest} - z_s}{\tan \alpha_{dw}}$,
- $L_3 = L_2 + \frac{z_s - (z_b + b)}{\tan \alpha_{uw}} + \frac{z_s - (z_b + b)}{\tan \alpha_{dw}}$,
- α_{uw} el ángulo de pendiente ascendente de la presa, y
- α_{dw} el ángulo de pendiente descendente de la presa.

Diagrama esquemático de la situación de las tuberías.

Se supone que el techo de tubería colapsado se mueve río abajo instantáneamente. Después del colapso, domina la falla por desbordamiento y la descarga del flujo de ruptura y la erosión vertical se pueden estimar utilizando las ecuaciones anteriores, respectivamente. La relación entre la expansión horizontal y la socavación vertical viene dada por el cambio en el ancho superior de la brecha ΔB :

$$\Delta B = \frac{2\Delta z_b}{\sin \beta}$$

y el cambio en el ancho del fondo de la brecha Δb viene dado por:

$$\Delta b = 2\Delta z_b \left(\frac{1}{\sin \beta} - \frac{1}{\tan \beta} \right)$$

13.13 Desbordamiento de la erosión

El otro tipo de erosión considerado es la erosión por rebase, 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 (véase la figura correspondiente). El proceso de erosión hace que el ancho y la altura de la brecha trapezoidal evolucionen según las mismas expresiones matemáticas que en el apartado anterior, cuando se derrumba el techo de la presa:

- Evolución de la profundidad de la infracción:

$$\frac{dz_b}{dt} = k_d(\tau_e - \tau_c)$$

- Evolución del ancho de 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 del fondo 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 desbordamiento.

13.14 Flujo de presa como condición de frontera interna

Cuando se utilizan mallas triangulares, existen 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 las condiciones de contorno son necesarias para completar la información proporcionada por el esquema numérico. La presencia de una estructura hidráulica interna se puede modelar mediante una condición matemática definida a lo largo de una línea interior en el dominio computacional. Esto se llama condición de límite interno (IBC), es decir, cada par de celdas que comparten un borde en esa línea interna se consideran celdas de límite interno. Estas celdas se actualizan utilizando tanto información del esquema numérico como del IBC. La figura muestra un ejemplo de IBC definido a lo largo de una línea límite interna donde varios pares de celdas (rellenas de azul) en ambos lados de la línea comparten un borde. Se utiliza una ley externa para definir el módulo de descarga a través de ellos, mientras que la profundidad del agua la proporciona el esquema numérico.

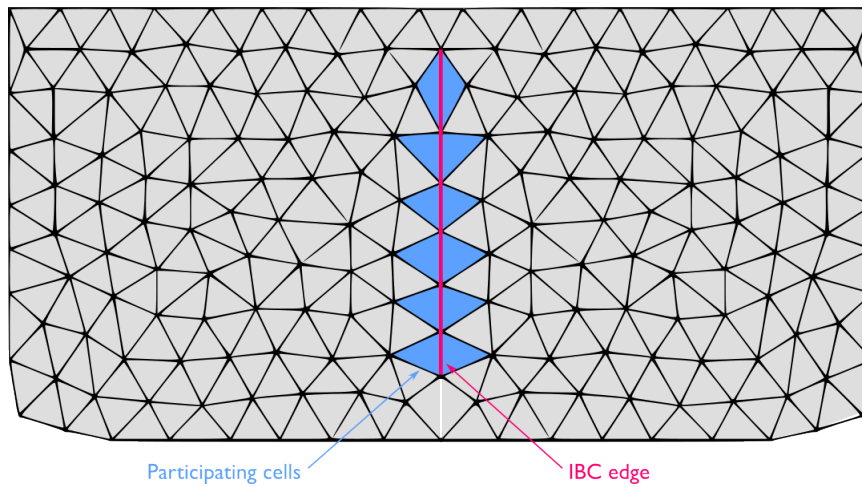


Figura 13.21 – Celdas de límite interno.

Suponiendo que no se haya producido el colapso del techo de la tubería y que la dirección del flujo sea de izquierda a derecha, el elemento aguas arriba es la celda L y el elemento aguas abajo es la celda R. 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 de descarga externa. Primero, el cambio de la elevación y el ancho del fondo de la tubería debido a la erosión se calcula usando y como:

$$z_b^{n+1} = z_b^n + \Delta t k_d (\tau_e - \tau_c)_b^n$$

$$b^{n+1} = b^n + \Delta t 2 k_d (\tau_e - \tau_c)_b^n$$

donde $(\tau_e - \tau_c)_b^n$ representa el esfuerzo cortante erosivo en la brecha evaluado en el nivel de tiempo t^n . Luego, se calculan las fuerzas motrices y resistentes del suelo, F_d y F_r respectivamente, y se verifica la condición de colapso del techo de la tubería. Por tanto, hay que tener en cuenta dos casos:

1. Si el colapso del techo no ocurre, la tubería se considera llena de agua y presurizada de modo que la descarga forzada de la celda en la tubería durante el siguiente nivel de tiempo se calcula usando como:

$$Q_b^{n+1} = A \sqrt{\frac{2g(z_{s,L}^{n+1} - z_b^{n+1})}{1 + fL/(4R)}}$$

donde las características de infracción integradas A , f , L , R se evalúan en el momento t^{n+1} .

2. Si se cumple la condición de colapso del techo, se supone que la brecha de la presa está abierta y la descarga forzada de la celda en la tubería durante el siguiente nivel de tiempo se calcula usando como:

$$Q_b^{n+1} = k_{sm} \left(c_r b^{n+1} (z_{s,L}^{n+1} - z_b^{n+1})^{1.5} + \frac{c_t (z_{s,L}^{n+1} - z_b^{n+1})^{2.5}}{\tan \beta} \right)$$

Tenga en cuenta que una vez que se produce el colapso del techo, ya no es necesario verificar la condición de estabilidad de la tubería y se supone que la brecha de la presa está abierta. Inde-

pendientemente de que la tubería esté mantenida o colapsada, la descarga unitaria en cada par de celdas que componen la brecha de la presa se supone normal a la dirección del borde compartido $\mathbf{h}_b$ 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 límite interno.

14 | Programa de entrada de datos de Hydronia (DIP)

DIP (Programa de entrada de datos de Hydronia) proporciona las herramientas para ingresar datos no espaciales y ejecutar HydroBID Flood. Todos los cambios introducidos en el DIP se guardan en los archivos de datos nativos de HydroBID Flood.

El DIP aparece cuando exporta los archivos a HydroBID Flood desde QGIS. También puede acceder al DIP haciendo doble clic en el icono DIP  en el escritorio. En ese caso, el programa le mostrará una lista de proyectos anteriores y le permitirá abrir cualquiera de ellos:

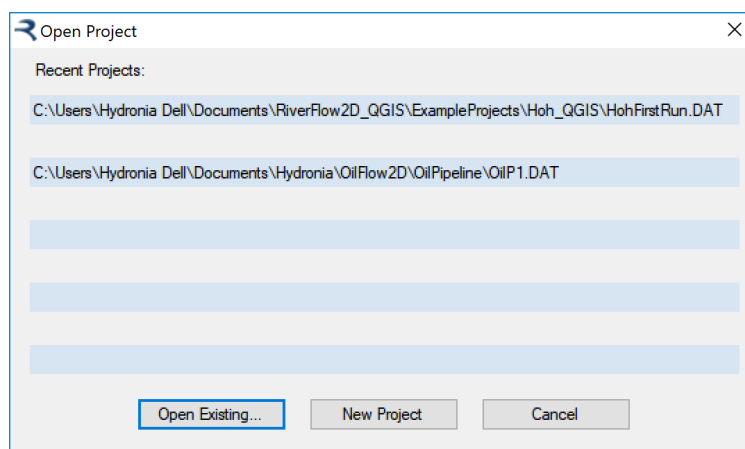


Figura 14.1 – Diálogo para abrir un proyecto en DIP.

DIP proporciona un entorno de entrada de datos con paneles que incluyen todas las opciones no espaciales para ejecutar HydroBID Flood. La columna izquierda de la ventana principal le permite seleccionar módulos, componentes, opciones de salida y configuraciones relacionadas. Cuando hace clic en una de las celdas, se activa el panel del lado derecho correspondiente. Cada panel contiene datos correspondientes a los archivos de entrada de HydroBID Flood. Por ejemplo, el panel *Control Data* tiene los datos principales de control de ejecución.

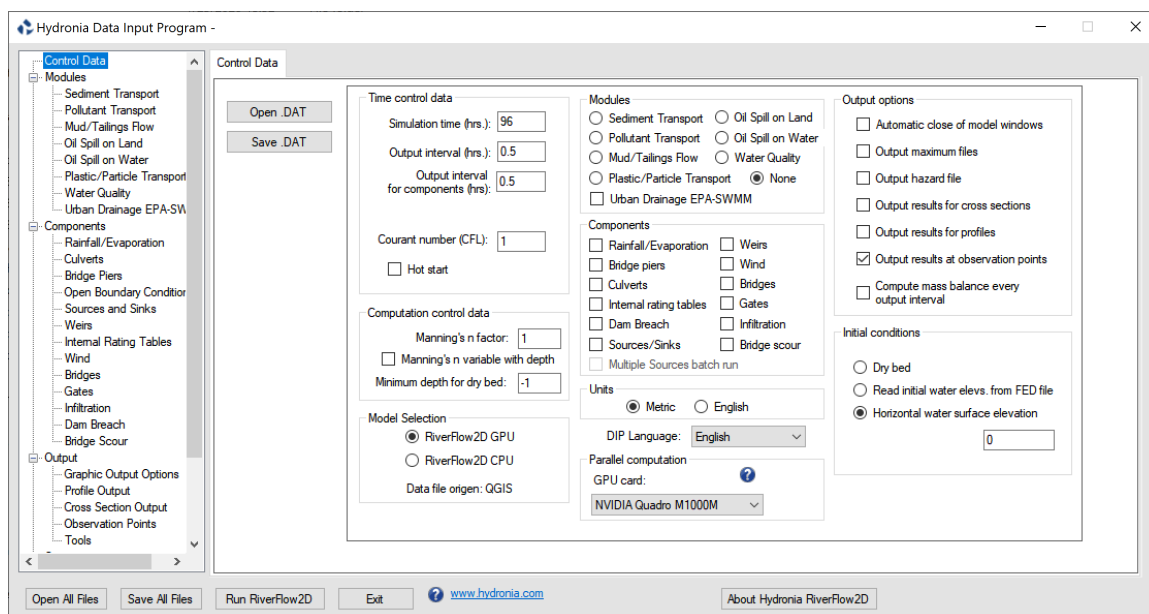


Figura 14.2 – Ventana principal de DIP.

DIP le permite seleccionar diferentes modelos de motores. Usando las opciones del marco de selección de modelo, puede seleccionar entre CPU RiverFlow2D o GPU RiverFlow2D. Tenga en cuenta que para ejecutar la versión de GPU necesita el hardware de GPU adecuado. Comuníquese con Hydronia al <mailto:support@hydronia.com> para solicitar información sobre las tarjetas GPU NVIDIA actualmente compatibles.

Las siguientes secciones describen los cuadros de diálogo del panel del DIP.

14.1 Panel Control Data (archivo .DAT)

Este panel determina las opciones generales de ejecución, como parámetros de control de paso de tiempo, unidades métricas o inglesas, proceso físico (componentes), salidas gráficas y condiciones iniciales. También proporciona botones para abrir archivos, guardar archivos y ejecutar el modelo HydroBID Flood. El programa se iniciará con el panel *Control Data* visible.

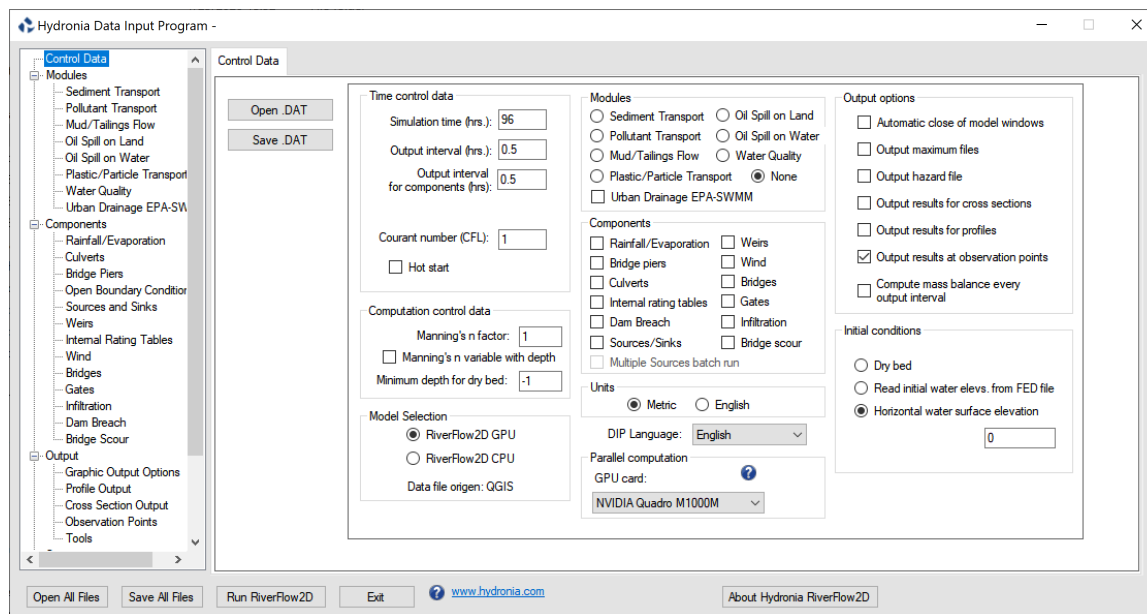


Figura 14.3 – Panel Control Data.

- **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 ni las elevaciones de los nodos, la topología de la malla triangular, los coeficientes de rugosidad de Manning ni otros parámetros relacionados con la malla del archivo.*
- **Run HydroBID Flood:** Ejecuta HydroBID Flood.
- **Exit:** Cierra DIP.
- **About DIP:** Muestra una descripción concisa de HydroBID Flood.
- **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 Programa de Entrada de Datos. Actualmente las opciones disponibles son inglés y español. Se agregarán otros idiomas en versiones futuras.
- **Simulation time (h.):** Tiempo total de simulación en horas.
- **Output Interval (h.):** Intervalo de tiempo para informes de salida.
- **Output Interval for components (h.):** Intervalo de tiempo para informes de salida de componentes. Se aplica a secciones transversales, perfiles, puntos de observación, alcantarillas, presas, rupturas de presas, puentes y compuertas.
- **CFL:** Condición de Courant-Friederich-Lewy (CFL). Establezca este número en un valor en el intervalo (0,1]. De forma predeterminada, CFL se establece en 1,0, que es el valor recomendado para un rendimiento máximo. Algunas aplicaciones raras pueden requerir reducir CFL a 0,5 o evitar oscilaciones del modelo en los resultados del modelo.

- **Hot start:** Utilice esta opción para reiniciar el modelo desde una simulación anterior.
- **Metric:** Seleccione esta opción para trabajar en unidades métricas. Las coordenadas se expresan en metros, las velocidades en m/s, el caudal en m³/s, etc. La salida de texto se proporciona en unidades métricas.
- **English:** Seleccione esta opción para trabajar en unidades inglesas. Las coordenadas se expresan en pies, las velocidades en ft/s, el caudal en ft³/s, etc. La salida de texto se proporciona en unidades inglesas.

Nota

Al exportar archivos HydroBID Flood desde QGIS, las unidades se configuran automáticamente de acuerdo con la proyección seleccionada. No se debe intentar cambiar a unidades diferentes a las de la proyección, ya que seguramente conducirá a resultados incorrectos del modelo.

- **Manning's n factor:** Utilice el factor XNMAN para probar la sensibilidad de los resultados a la n de Manning y reducir el número de ejecuciones de calibración. Al usar 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 la n de Manning como una función de la profundidad. El usuario debe ingresar 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 permite al modelo establecer dinámicamente las condiciones de celda seca para profundidades menores que 10⁻⁶m.
- **Automatic close of model windows:** Las ventanas del modelo se cierran automáticamente tan pronto como el programa finaliza la ejecución.
- **Output maximum files:** Active esta opción para informar los valores máximos durante toda la simulación en los archivos de salida de valores máximos.
- **Output hazard file:** El modelo generará niveles de peligro de inundación basados en los criterios utilizados en diferentes países.
- **Output results for cross sections:** Utilice esta opción para generar resultados para secciones transversales definidas por el usuario. La sección transversal se puede editar en el Panel de salida de sección transversal. Estos datos van en un archivo.
- **Output results for profiles:** Utilice 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 Panel de salida de corte de perfil. Estos datos van en un archivo.

- **Output results at observation points:** Cambie para permitir informes de series temporales de resultados en ubicaciones específicas definidas por coordenadas en el Panel de puntos de observación.
- **Compute mass balance every output interval:** Cambie para calcular el balance detallado de masa o volumen. El informe está escrito en el expediente. Mantenga esta opción seleccionada para verificar el balance de masa general del modelo, pero se recomienda desactivarla para ejecuciones de producción, ya que acelerará la operación del modelo.
- **Mud/Tailings Flow:** Opción para activar la modelación del flujo de lodos y relaves. Los datos se pueden editar en el panel Mud/Tailings Flow. Los datos se escriben en el archivo correspondiente.
- **Oil Spill on Land:** Opción para activar la modelación de derrames de petróleo sobre tierra. Los datos se pueden editar en el panel Oil Spill on Land. Los datos se escriben en el archivo correspondiente.
- **Oil Spill on Water:** Opción para activar la modelación de derrames de petróleo sobre el agua. Los datos se pueden editar en el panel Oil Spill on Water. Los datos se escriben en el archivo correspondiente.
- **Pollutant Transport:** Opción para activar la modelación del transporte de contaminantes. Los datos de transporte de contaminantes se pueden editar en el panel Pollutant Transport. Los datos se escriben en el archivo correspondiente.
- **Sediment transport:** Opción para activar la modelación del transporte de sedimentos con erosión y deposición en un lecho móvil. Los datos de transporte de sedimentos se pueden editar en el panel Sediment Transport. Estos datos se escriben en los archivos correspondientes.
- **Urban Drainage EPA-SWMM:** Opción para integrar las aguas superficiales con el modelo de drenaje pluvial EPA-SWMM. Los datos se escriben en el archivo correspondiente.
- **Water Quality:** Opción para activar el modelo de calidad del agua. Los datos de calidad del agua se pueden editar en el panel Water Quality. Los datos se escriben en el archivo correspondiente.
- **Rainfall/Evaporation:** Opción para activar lluvia y/o evaporación. Los datos requeridos deben ingresarse en el Panel de lluvia/evaporación. Estos datos se escriben en el archivo.
- **Bridge piers:** Active esta opción para tener en cuenta la fuerza de arrastre de las pilas. Los datos de las pilas del puente se pueden editar en el panel Bridge Piers. Los datos se escriben en el archivo.
- **Bridges:** Active esta opción para modelar puentes usando la geometría de su sección transversal y teniendo en cuenta las pérdidas de energía. Los datos se pueden editar en el panel Bridges. Los datos se escriben en el archivo.
- **Bridge Scour:** Active esta opción para calcular la socavación del puente en pilas y estribos. Los datos se pueden editar en el panel Bridge Scour. Los datos se escriben en el archivo.

- **Culverts:** Opción que indica si se utilizarán alcantarillas unidimensionales. Los datos de las alcantarillas se pueden editar en el panel Culverts. Los datos se escriben en el archivo.
- **Dam Breach:** Interruptor para activar el componente Dam Breach. Los datos se escriben en el archivo.
- **Gates:** Active esta opción para modelar compuertas. Los datos se pueden editar en el panel Gates. Los datos se escriben en el archivo.
- **Infiltration:** Opción para activar cálculos de pérdidas por infiltración. Los datos requeridos deben ingresarse en el Panel de Infiltración. Estos datos se escriben en el archivo.
- **Internal rating tables:** Active esta opción para usar tablas de aforo internas. Los datos se pueden editar en el panel Internal Rating Tables. Los datos se escriben en el archivo.
- **Multiple sources batch run:** Cambie 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:** Opción que indica la existencia de fuentes o sumideros. Los datos de fuentes y sumideros se pueden editar en el panel Sources/Sinks. Los datos se escriben en el archivo.
- **Wind:** Esta opción activa el cálculo de la tensión del viento en la superficie del agua. Los datos se pueden editar en el Panel de Viento. 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 la entrada durante el primer paso de tiempo. Posteriormente, el modelo determinará la profundidad del flujo en el contorno.
- **Read initial water elevations from file:** Las elevaciones iniciales de la superficie del agua se leerán del archivo. Es posible asignar una elevación de la superficie del agua inicial espacialmente variable en la capa de condiciones iniciales.
- **Horizontal water surface elevation:** Utilice esta opción para iniciar una simulación con una elevación horizontal inicial 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 más alta del lecho en la malla.

14.2 Panel de transporte de sedimentos (archivos .SEDS y .SEDB)

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

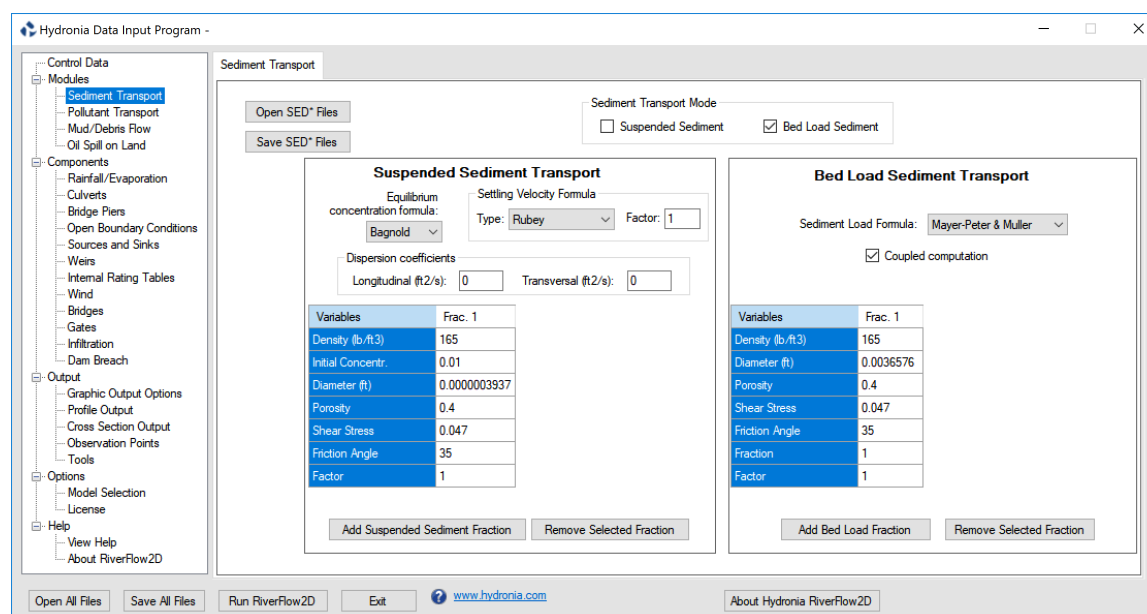


Figura 14.4 – Panel de transporte de sedimentos.

- **Suspended sediment:** Cuando se selecciona esta casilla de verificación, el modelo calculará las concentraciones de sedimentos utilizando el componente de transporte de sedimentos suspendidos. Ver comentario 1.
- **Bed load Sediment:** Al seleccionar esta casilla de verificación se activará el componente de transporte de sedimentos de carga del lecho. Ver comentario 1.
- **Open:** Abre un archivo existente.
- **Save:** Guarda los datos de sedimentos en los archivos correspondientes.
- **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 suspendidos:

1. Bagnold (1966)lb
2. Van Rijn (1984a)
3. Zhang y Xie (1993)

- **Settling Velocity Formula:** Es una fórmula única que aplica para todas las fracciones. Esta lista desplegable incluye las siguientes fórmulas:

1. Rubey (1933)
2. Zhang (1961)
3. Zanke (1977)
4. Van Rijn (1984a)
5. Raudkivi (1990)
6. Julien (1998)
7. Cheng (1997)
8. Jimenez-Madsen (2003)

9. Wu-Wong (2006)

- **Factor:** Este factor multiplica la velocidad de sedimentación calculada por la fórmula seleccionada.
- **Dispersion coefficients:** Coeficientes de dispersión longitudinal y transversal para el módulo de sedimentos suspendidos (m^2/s o ft^2/s).
- **Density:** Densidad del sedimento suspendido (kg/m^3 o lb/ft^3).
- **Initial Concentration:** Concentración volumétrica inicial de sedimento. Ver comentario 2.
- **Diameter:** Tamaño de sedimento característico para esta fracción (m o pies).
- **Porosity:** Porosidad del lecho.
- **Shields Stress:** Esfuerzo crítico de Shields.
- **Friction Angle:** Ángulo de fricción de los sedimentos (grados).
- **Factor:** Factor de fórmula de concentración de equilibrio para cada fracción. Este factor multiplica la concentración de equilibrio calculada por la fórmula seleccionada.
- **Add Suspended Sediment Fraction:** Se utiliza para agregar una nueva fracción. Se podrán utilizar hasta 10 fracciones.
- **Remove Selected Fraction:** Elimina la fracción seleccionada.
- **Sediment load formula:** 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. Parker fit to Einstein (1979)

6. Smart (1984)

7. Nielsen (1992)

8. Wong 1 (2003)

9. Wong 2 (2003)

10. Camenen-Larson (1966)

- **Density:** Densidad del sedimento (lb/ft^3 o kg/m^3).
- **Diameter D30:** Tamaño del sedimento D30 (m). El 30% del sedimento es más fino que D30. Sólo se utiliza para Smart Formula.
- **Diameter:** Tamaño de sedimento característico para esta fracción (m).
- **Diameter D90:** Tamaño del sedimento D90 (m). El 90% del sedimento es más fino que D90. Sólo se utiliza para Smart Formula.
- **Porosity:** Porosidad de los sedimentos.
- **Shields Stress:** Esfuerzo crítico de Shields.

- **Friction Angle:** Ángulo de fricción de los sedimentos (grados).
- **Fraction:** Fracción de material en lecho. Todas las fracciones deben sumar 1.
- **Factor:** Factor de fórmula de transporte para cada fracción. Este factor multiplica el resultado de la fórmula de transporte seleccionada.
- **Add Bed Load Fraction:** Se utiliza para agregar una nueva fracción. Se podrán utilizar hasta 10 fracciones.
- **Remove Selected Fraction:** Elimina la fracción seleccionada.

14.2.0.1 Comentarios para los archivos .SEDS y .SEDB

1. Puede seleccionar una o ambas opciones. Cuando se utiliza la opción de transporte de sedimentos suspendidos, todos los archivos de datos de entrada deben contener series temporales de concentraciones volumétricas para cada fracción ingresada.
2. La concentración volumétrica debe proporcionarse como una fracción de 1. Tenga en cuenta que la concentración de carga suspendida máxima total típica no supera 0,08. Las concentraciones superiores a 0,08 generalmente se consideran flujo hiperconcentrado que excede la validez de los algoritmos de transporte de sedimentos. Por lo tanto, la suma de todas las concentraciones iniciales tampoco debe exceder 0,08.

14.3 Panel Drenaje Urbano EPA-SWMM (Archivo .LSWMM)

Este panel se utiliza para mostrar el contenido del archivo e ingresar datos para el módulo de Drenaje Urbano. Se espera que cree las bocas de acceso (nodos de intercambio) en el archivo del proyecto EPA-SWMM. En este panel, puede editar el diámetro y el coeficiente de descarga de cada pozo. Para activar este panel, primero seleccione *Urban Drainage EPA-SWMM* del grupo *Modules* en el panel izquierdo de DIP.

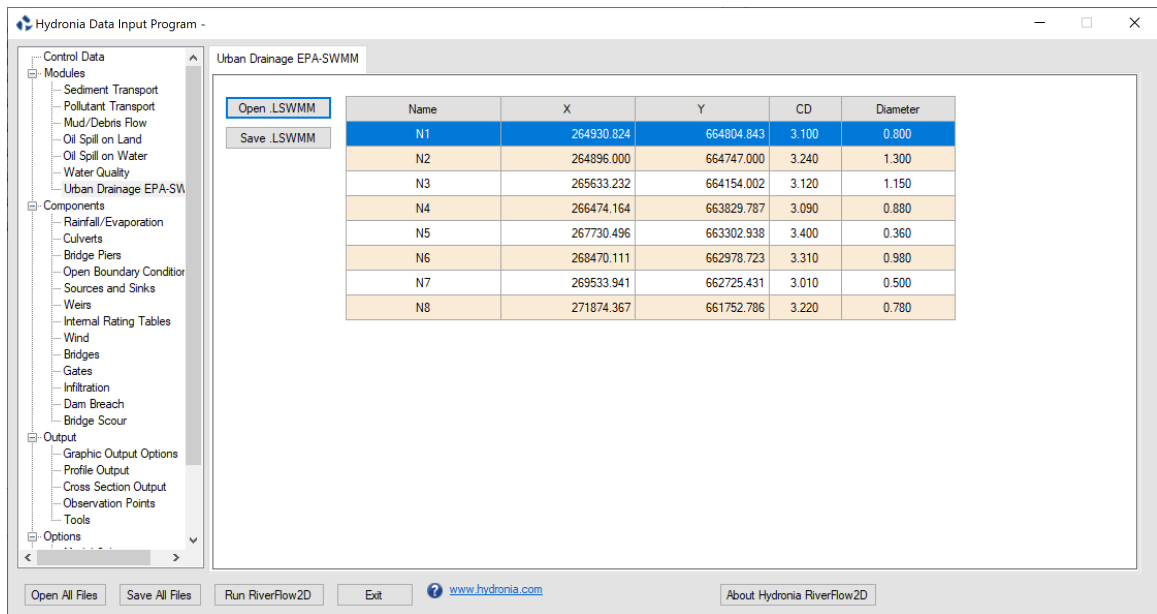


Figura 14.5 – Panel de drenaje urbano EPA-SWMM.

- **CD:** Coeficiente de descarga para 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 datos de flujo de lodo y relaves (archivo .MUD)

Este panel permite introducir los datos necesarios para realizar simulaciones de flujo de lodos y relaves. Incluye opciones para los modelos de propiedades constantes y variables. Para activar este panel, primero seleccione *Mud/Tailings Flow* en el *Components Frame* del panel *Control Data*. 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 límite elástico, la viscosidad y la densidad del material en función de la concentración volumétrica C_v según diferentes procedimientos disponibles en publicaciones seleccionadas de las listas desplegables.

Al utilizar el modelo de propiedades variables, el usuario puede introducir varias clases para representar los distintos materiales, caracterizados por su diámetro y densidad. En ese caso, es importante tener en cuenta que cada archivo de condiciones de contorno del flujo entrante deberá contener, además del caudal o la elevación del agua, las concentraciones volumétricas C_v de cada clase de material.

Para obtener más detalles sobre los datos de este panel, consulte la tabla de la sección correspondiente.

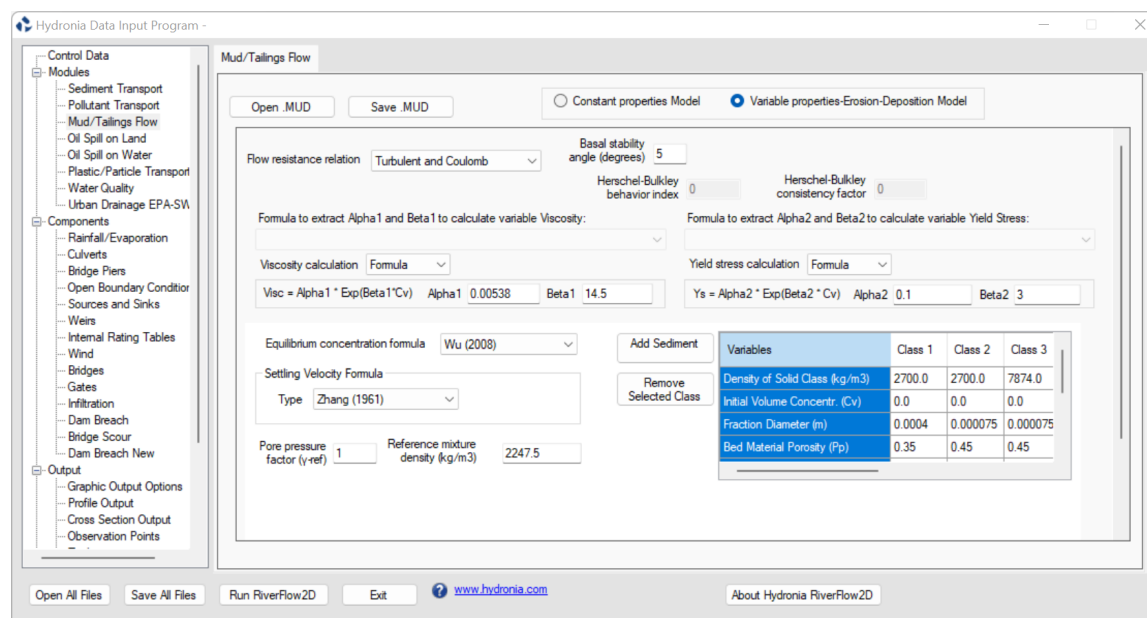


Figura 14.6 – Panel de flujo de lodos y relaves.

- **Constant properties:** Seleccione el modelo de propiedad constante donde la viscosidad, la densidad y el límite elástico permanecen invariantes en el espacio y el tiempo durante el cálculo.
- **Variable properties:** Seleccione el modelo de propiedad variable donde la viscosidad, la densidad y el límite elástico pueden cambiar durante el cálculo. El modelo también puede considerar la distribución de granos 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 esfuerzo de fluencia
6. Turbulento, Coulomb y esfuerzo de fluencia
7. Cuadrático
8. Flujo granular
9. Herschel-Bulkley

Cálculo de la viscosidad:

1. Constante: se supondrá que la viscosidad es constante en el espacio y el tiempo, e igual al valor introducido en el cuadro Viscosity para las propiedades constantes.
2. Fórmula: la viscosidad dependerá de Cv según la fórmula seleccionada en función de Cv.
3. Tabla: la viscosidad se interpolará a partir de la tabla Cv frente a viscosidad proporcionada por el usuario en la parte inferior del panel. Consulte el formato del archivo en la sección siguiente.

Cálculo del esfuerzo de fluencia:

1. Constante: se supondrá que el esfuerzo de fluencia es constante en el espacio e igual al valor introducido en el cuadro Yield stress para las propiedades constantes.
2. Fórmula: el esfuerzo de fluencia dependerá de Cv según la fórmula seleccionada en función de Cv.
3. Tabla: el esfuerzo de fluencia se interpolará a partir de la tabla Cv frente a esfuerzo de fluencia proporcionada por el usuario en la parte inferior del panel. Consulte el formato del archivo en la sección siguiente.

- **Cv:** Concentración volumétrica del fluido
- **Yield stress:** Esfuerzo de fluencia (Pa o lb/in²).
- **Viscosity:** Viscosidad del fluido (Poise o lb/in²).
- **Equilibrium concentration formula:** Lista de selección de diferentes autores.
- **Basal stability angle:** Ángulo de estabilidad basal del material (grados).
- **Settling Velocity Formula:** Es una fórmula única que aplica para todas las fracciones. Esta lista desplegable incluye las siguientes fórmulas:

1. Rubéi (1933) 2.Zhang (1961)
2. Zanke (1977)
3. Van Rijn (1984a)
4. Raudkivi (1990)
5. Julián (1998)
6. Cheng (1997)
7. Jiménez-Madsen (2003)
8. Wu-Wong (2006)

- **Factor:** Este factor multiplica la velocidad de sedimentación calculada por la fórmula seleccionada.
- **Pore pressure factor:** $\gamma_{ref} \geq 1$ es un factor de presión de poro definido por el usuario. Consulte la ecuación.
- **Material density:** Densidad del fluido (kg/m³ o lb/ft³).
- **Reference density:** $\rho_{ref} \geq \rho_w$ es la densidad de referencia definida por el usuario utilizada en el término de presión de poro. Debe ser mayor o igual que la densidad del agua (kg/m³ o lb/ft³). Consulte la ecuación.
- **Density of solid class:** Densidad del sólido de cada clase (kg/m³ o lb/ft³).
- **Initial Volume Concentration:** Concentración volumétrica inicial de material. Se reemplaza si se proporcionan polígonos de concentración inicial.
- **Fraction Diameter:** Tamaño característico del material para cada clase (m o pies).
- **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 fórmula de concentración de equilibrio para cada clase. Este factor multiplica la concentración de equilibrio calculada por la fórmula seleccionada y se usa comúnmente 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 de todas las clases debe ser 1.
- **Settling velocity Factor:** Factor de fórmula de velocidad de asentamiento para cada clase. Este factor multiplica la velocidad de sedimentación calculada por la fórmula seleccionada y se usa comúnmente para la calibración del modelo.
- **Add Sediment:** Se utiliza para agregar una nueva clase de material. Se pueden utilizar hasta 10 clases.
- **Remove Selected Class:** Elimina la clase seleccionada.

14.4.1 Archivos de datos opcionales de viscosidad o límite elástico

Al seleccionar la opción Tabla de las listas desplegables Cálculo de viscosidad o Cálculo de límite elástico, se debe proporcionar un archivo de datos que represente la variación de la viscosidad o el límite elástico con la concentración volumétrica C_v .

El formato del archivo es el siguiente.

Línea 1: Numere los puntos en la serie de datos.

NDATA

Líneas NDATA que contienen

$C_v(I)$ VARIABLE(I)

Donde VARIABLE(I) es la viscosidad o límite elástico para el $C_v(I)$ correspondiente.

14.4.1.1 Ejemplo de archivos de datos de viscosidad o límite elástico

El siguiente ejemplo muestra datos de límite elástico en función de C_v , donde NDATA es 5 y hay 5 líneas con pares de C_v e Y_s :

```
5
0.00 0.
0.20 0.1
0.30 150.
0.50 500.
0.65 1200.
```

14.5 Panel de Transporte de Contaminantes (.SOLUTES)

Utilice el panel *Pollutant Transport* para introducir los parámetros necesarios para caracterizar las tasas de reacción entre varios solutos, como se resume en la tabla.

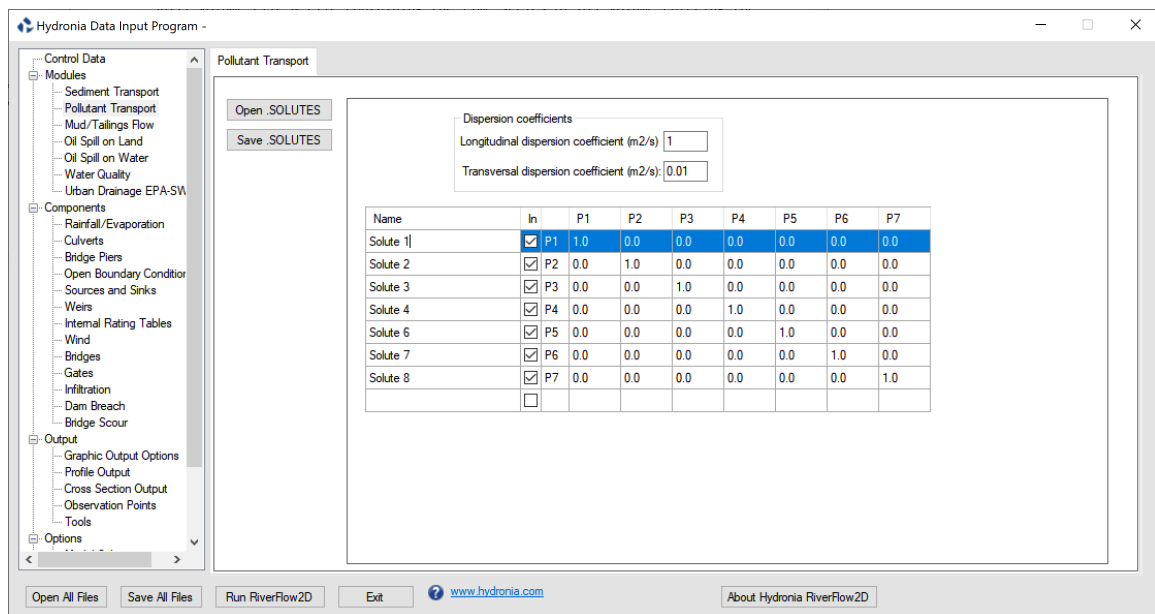


Figura 14.7 – Panel de transporte de contaminantes.

- **Dispersion coefficients:** Coeficientes de dispersión longitudinal y transversal para el módulo PL (m^2/s o ft^2/s).
- **Name:** Nombre del soluto.
- **In:** Marque la casilla 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 agregar más solutos haciendo clic en el nombre de la última fila. También puede eliminar un soluto seleccionando su nombre y pulsando la tecla Delete del teclado. Los títulos de las columnas (P1, P2,...) corresponden a cada soluto.

14.6 Ficha Graphic Output Options (archivo .PLT)

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

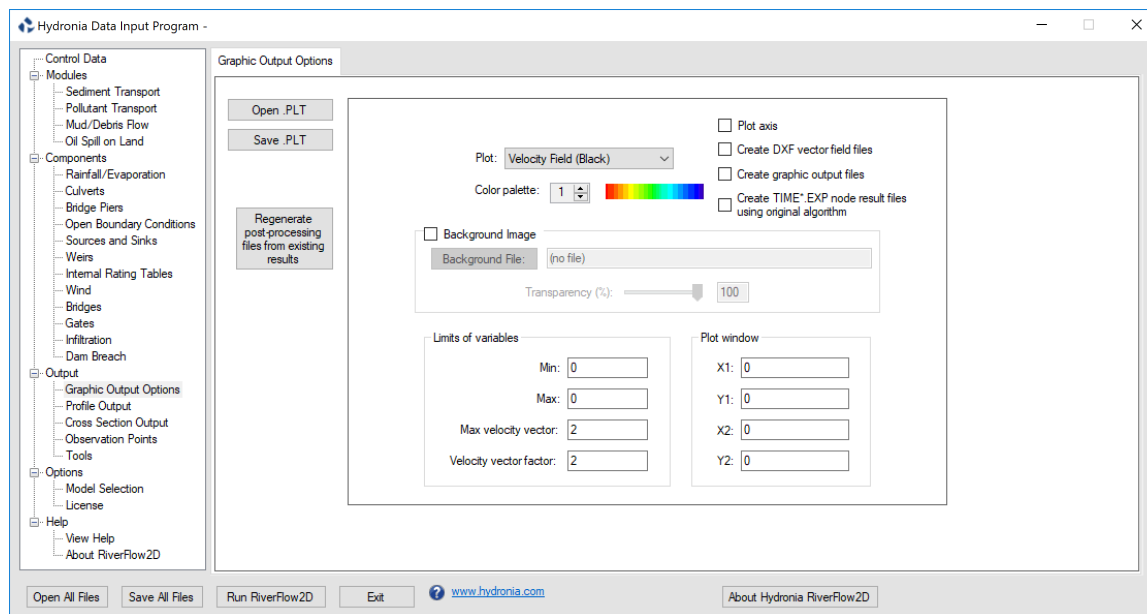


Figura 14.8 – Panel de salida gráfica.

- **Open:** Abre un archivo de datos de salida existente.
- **Save:** Guarda solo los datos de salida gráfica en un archivo.
- **Regenerate post-processing files from existing results:** Utilice este botón para crear archivos de salida a partir de simulaciones existentes. Los archivos de salida escritos durante una simulación previa deben estar disponibles.
- **Plot:** Elija el gráfico deseado de la lista:
 - Campo de velocidad mediante flechas negras.
 - Campo de velocidad usando flechas de colores basadas en la magnitud de la velocidad.
 - Velocidades en negro sobre profundidades coloreadas.
 - Velocidades en negro sobre elevaciones de lecho coloreadas.
 - Profundidad de flujo.
 - Elevación del lecho.
 - Elevaciones de agua.
 - Velocidades en negro sobre elevaciones de agua coloreadas.
 - Erosión y deposición.
 - Concentración
- **Color palette:** Para uso futuro.
- **Plot axis:** Para uso futuro.

- **Create DXF vector field files:** Genera archivos DXF (CAD) del campo vectorial de velocidad. Esta opción también exporta la malla en formato DXF al archivo correspondiente.
- **Create graphic output files:** Para uso futuro.
- **Create node result files using original algorithm.:** Con esta opción, HydroBID Flood genera 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 salida de perfil (archivo .PROFILES)

Utilice este panel para introducir las coordenadas de la polilínea donde se generarán los resultados del modelo. El modelo generará los resultados y los archivos correspondientes. Para activar este panel, primero seleccione *Profile Output* en *Output* del grupo *Output* en el panel izquierdo del DIP. Consulte la sección del archivo de salida para obtener una descripción del contenido del archivo de salida.

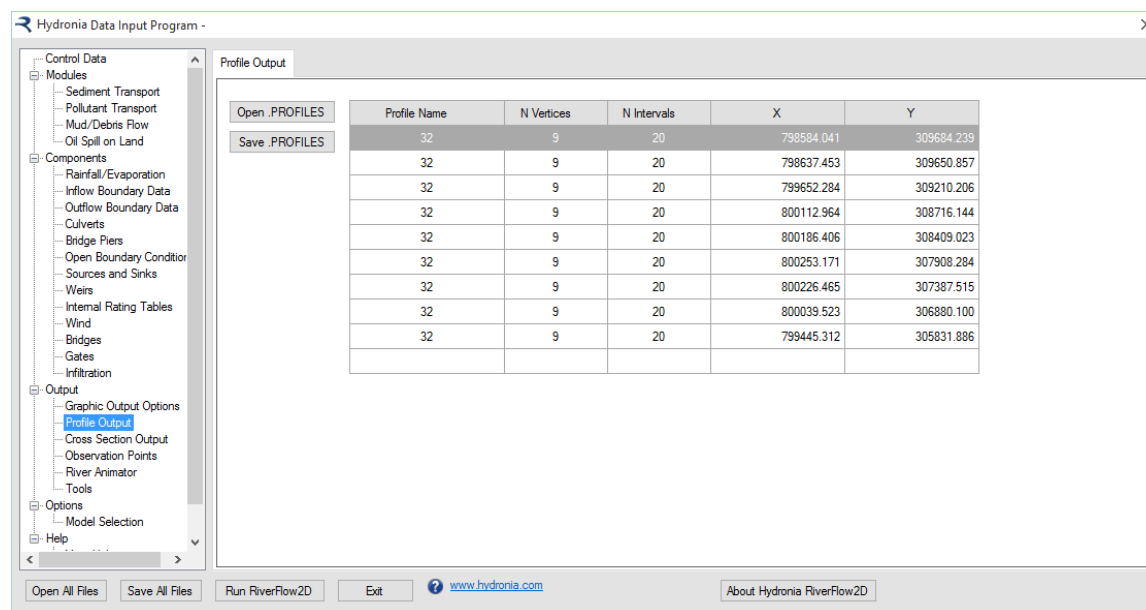


Figura 14.9 – Archivo de salida de perfil.

- **Profile name:** Nombre del perfil. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **N Vertices:** Número de vértices en cada perfil.
- **N Intervals:** Intervalos para dividir cada subsegmento del perfil entre vértices. Los resultados se informarán en cada intervalo.
- **X, Y:** Coordenadas de cada vértice de la polilínea.
- **Open:** Abre un archivo existente.
- **Save:** Guarda solo los datos del perfil en un archivo.

14.8 Panel de salida de sección transversal (archivo .XSECS)

Utilice este panel para introducir las coordenadas de las secciones transversales que intersectan la malla de celdas triangulares donde desea generar los resultados del modelo. HydroBID Flood generará los resultados y los archivos correspondientes. Para activar este panel, primero seleccione *Cross Section Output* del grupo *Output* en el panel izquierdo del DIP.

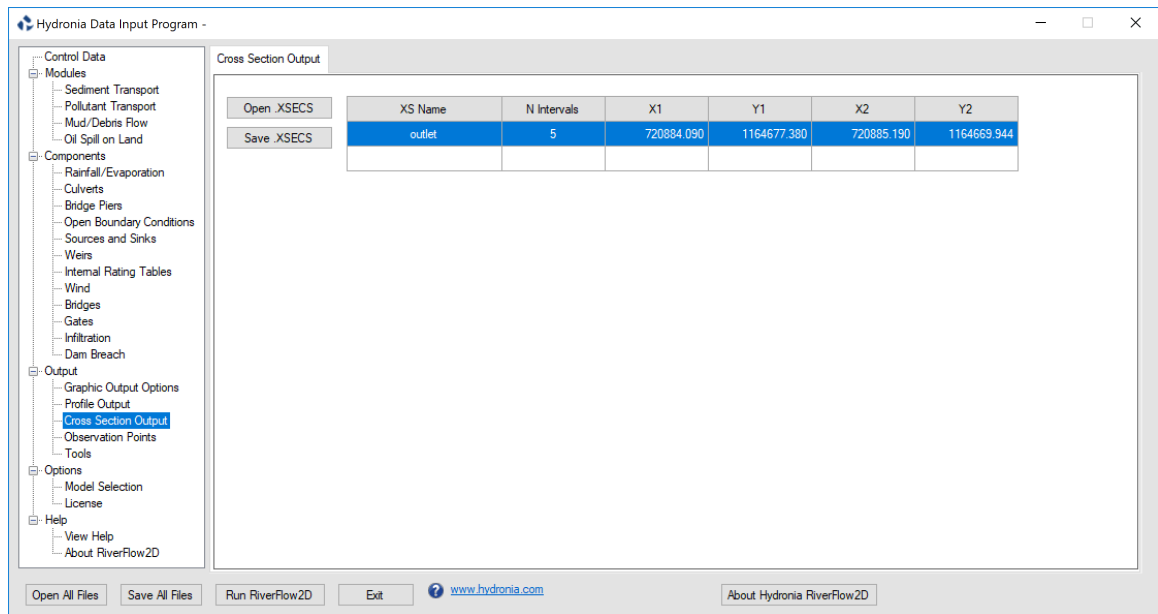


Figura 14.10 – Panel de salida de sección transversal.

- **XS Name:** Nombre de la sección transversal. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **N Intervals:** Intervalos para dividir cada sección. Los resultados se extraerán e informarán 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 solo los datos de la sección transversal en un archivo.

14.9 Panel de alcantarillas (archivo .CULVERTS)

Este panel se utiliza para mostrar el contenido del archivo e ingresar datos para alcantarillas. La figura muestra el panel *Culvert* con tres alcantarillas. Al seleccionar *Culvert1* en la primera fila se muestra la tabla de clasificación 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 Ke: 0.5

Open All Files Save All Files Run RiverFlow2D Exit www.hydronia.com About Hydronia RiverFlow2D

Figura 14.11 – Panel de alcantarillas con datos en la curva de aforo.

La figura muestra los controles de entrada de datos correspondientes que aparecen al seleccionar la primera fila para 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 Tipo = 0, la descarga de la alcantarilla se calcula a partir de una tabla de clasificación proporcionada por el usuario en el archivo de alcantarilla. Para los tipos = 1 y 2, la descarga se calcula usando ecuaciones de alcantarilla basadas en las características de la alcantarilla proporcionadas en el archivo de alcantarilla.
- **Culvert File:** Nombre del archivo de la tabla de aforo o de los datos característicos 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 alcantarilla dado por la Tabla.
- **Entrance loss coefficient:** Coeficiente de pérdida de entrada de la alcantarilla dado por la Tabla.
- **Culvert inlet control formula coefficients:** Coeficientes de la fórmula de control de entrada de alcantarilla dados por la Tabla.
- **m:** Coeficiente de forma de entrada. $m=0,7$ para entradas en inglete, $m=-0,5$ para todas las demás entradas.
- **Barrel height (Hb):** Altura del barril para alcantarillas tipo cajón (pies o m). Sólo para alcantarillas tipo cajón: CulvertType = 1.
- **Barrel width (Base):** Ancho del cañón para alcantarillas tipo caja (m o pies). Sólo para alcantarillas tipo cajón: CulvertType = 1.
- **Diameter (Dc):** Diámetro del cañón para alcantarillas circulares (m o pies). Sólo para alcantarillas circulares: CulvertType = 2.
- **Number of barrels:** Número de cañones idénticos.

- **Use cell elevations:** Cuando se selecciona esta casilla de verificación, el modelo extraerá las elevaciones inversas de entrada y salida de las elevaciones de celda de los puntos finales de la alcantarilla. Si la casilla de verificación no está seleccionada, el usuario puede ingresar la elevación invertida de entrada (Z1) y la elevación invertida 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 Tablas de Calificación Interna (Archivo .IRT)

Este panel se utiliza para mostrar el contenido del archivo e ingresar datos para las Tablas de calificación interna. En este Panel también se pueden editar las polilíneas, el tipo y el nombre del archivo de datos de la Tabla de Calificación Interna. Para activar este panel, primero seleccione *Internal Rating Table* del grupo *Components* en el panel izquierdo de DIP.

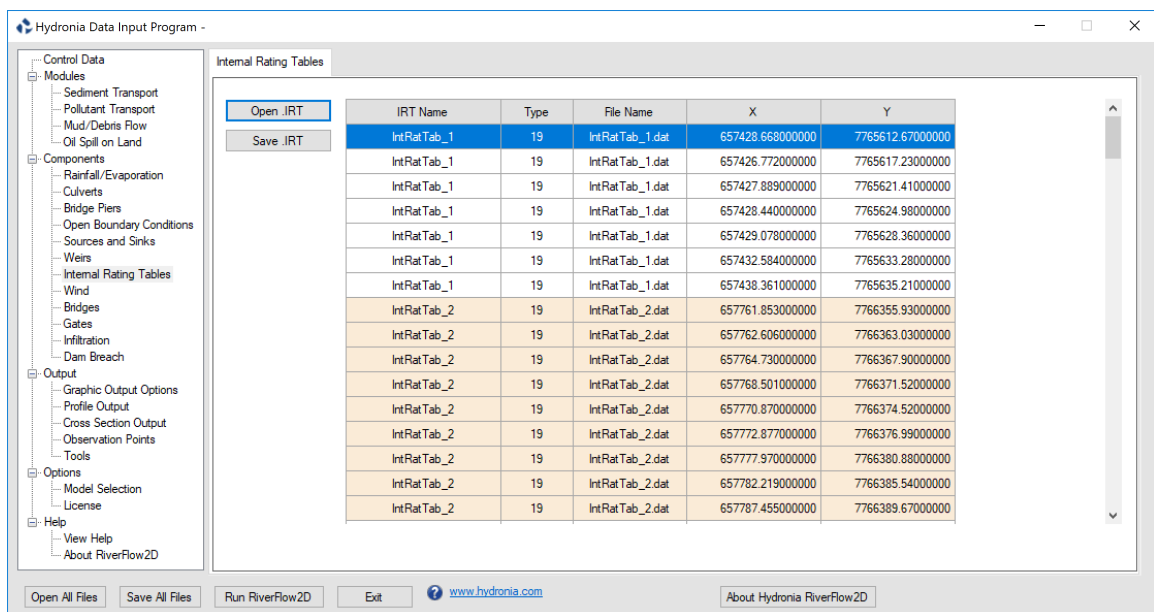


Figura 14.12 – Panel de tablas de aforo internas.

- **IRT Name:** Nombre de la tabla de calificación interna. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **Type:** La condición de límite siempre es igual a 19 en esta versión, correspondiente a las tablas de elevación de la superficie del agua frente a descarga.
- **File Name:** Nombre del archivo que contiene datos de la tabla de calificación interna en el formato descrito como archivo de datos de descarga por etapas.
- **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 calificación interna en un archivo.

14.11 Panel de vertederos (archivo .WEIRS)

Este panel se utiliza para mostrar el contenido del archivo. En este Panel también se pueden crear datos de polilínea de vertedero. Para activar este panel, primero seleccione *Weirs* del grupo *Components* en el panel izquierdo de DIP.

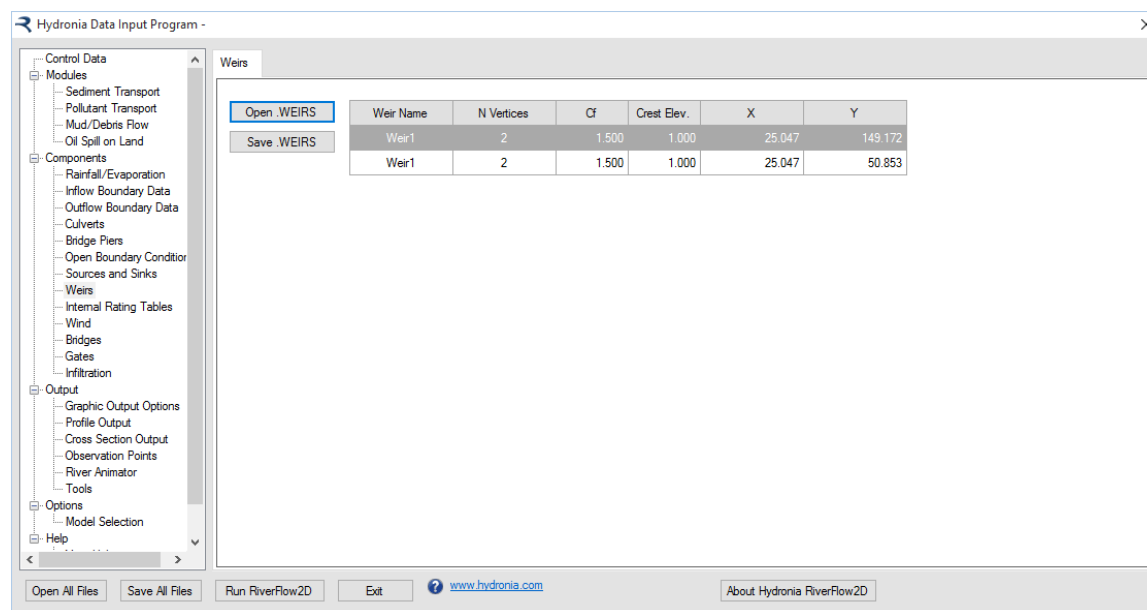


Figura 14.13 – Panel de vertederos.

- **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 de vertedero.
- **X, Y:** Coordenadas de los vértices que definen cada polilínea de vertedero (m o pies).
- **Open:** Abre un archivo existente.
- **Save:** Guarda solo los datos del vertedero en un archivo.

14.12 Panel de fuentes/sumideros (archivo .SOURCES)

Este panel se utiliza para mostrar el contenido del archivo. Utilice este Panel para crear también datos de ubicación de fuentes y sumideros, tipos y archivos de datos de fuentes/sumideros. Para activar este panel, primero seleccione *Sources and Sinks* del grupo *Components* en el panel izquierdo de DIP.

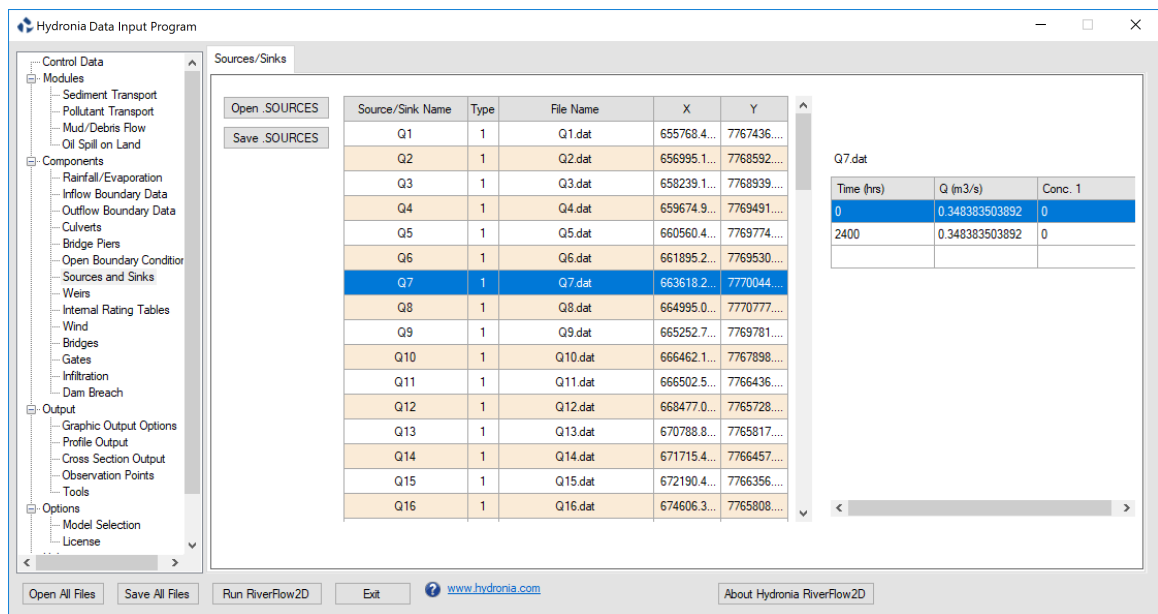


Figura 14.14 – Panel de fuentes y sumideros.

- **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 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 profundidades frente a valores de descarga.
- **X, Y:** Coordenadas del punto.
- **Open:** Abre un archivo existente.
- **Save:** Guarda solo los datos de fuentes y receptores en un archivo.

14.13 Panel de socavación del puente (archivo .SCOUR)

Este panel se utiliza para mostrar el contenido del archivo. Utilice este Panel para editar datos de pilares o estribos de puentes y calcular la socavación en esas estructuras. Para activar este panel, primero seleccione *Bridge Scour* del grupo *Components* en el panel izquierdo de DIP.

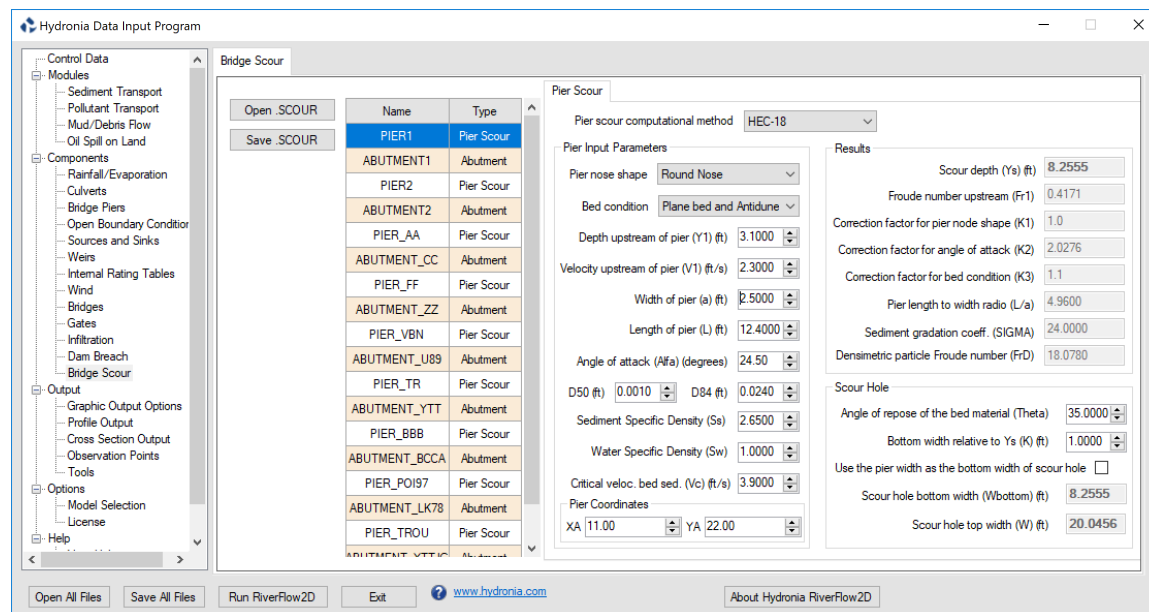


Figura 14.15 – Panel de socavación de puentes.

- **Pier ID:** Nombre del pilar
- **Icomp::** Método computacional
- **XA, YA:** Coordenadas del pilar
- **Y1:** Profundidad de flujo directamente aguas arriba del pilar
- **V1:** Velocidad aguas arriba del pilar
- **Alfa:** Ángulo de ataque
- **alfaRAD:** Ángulo de ataque
- **ishape:** Forma del pilar
- **L:** Longitud del pilar
- **a:** Ancho del pilar
- **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 punta del pilar.
- **K2:** Factor de corrección para el ángulo de ataque del flujo
- **K3:** Factor de corrección para la condición del lecho
- **K:** ancho inferior relativo a Ys.
- **theta:** ángulo de reposo del material del lecho
- **ys:** Profundidad de socavación
- **W:** ancho superior del pozo de socavación
- **Wbottom:** ancho del fondo del pozo de socavación
- **Fr1:** Número de Froude aguas arriba del pilar
- **FrD:** Número de Froude de partículas densimétricas
- **SIGMA:** Coeficiente de gradación de sedimentos
- **Vc:** Velocidad crítica para el inicio de la erosión del material.

- **iAbutmentType:** Tipo de pilar
- **AlfaA:** Factor de amplificación para condiciones de lecho vivo
- **AlfaB:** Factor de amplificación para condiciones de agua clara
- **YmaxLB:** Profundidad máxima de flujo después de la socavación para condiciones de lecho vivo
- **YmaxCW:** Profundidad máxima de flujo después de la socavación para condiciones de agua clara
- **YcLB:** Profundidad incluyendo socavación por contracción del lecho vivo
- **YsA:** Profundidad de socavación del pilar
- **YcCW1:** Profundidad incluida la socavación por contracción de aguas claras. Método 1
- **YcCW2:** Profundidad incluida la socavación por contracción de aguas claras. Método 2
- **q1:** Descarga unidad aguas arriba
- **q2c:** Descarga de la unidad aguas arriba de la abertura estrecha
- **n Manning:** Mannings n
- **TauC:** Esfuerzo cortante crítico
- **GammaW:** Peso unitario del agua
- **BridgeXSEC_X1, BridgeXSEC_Y1, BridgeXSEC_X2, BridgeXSEC_Y2:** Coordenadas de puntos extremos de la Sección Transversal del Puente
- **UpstreamXSEC_X1, UpstreamXSEC_Y1, UpstreamXSEC_X2, UpstreamXSEC_Y2:** Coordenadas de puntos extremos de la Sección Transversal Aguas Arriba
- **Open:** Abre un archivo existente.
- **Save:** Guarda solo los datos de la pila del puente y del estribo en un archivo.

14.14 Panel de pilares de puente (archivo .PIERS)

Este panel se utiliza para mostrar el contenido del archivo. En este Panel también puede ingresar la ubicación del pilar del puente y los datos de geometría del pilar. Para activar este panel, primero seleccione *Bridges Piers* del grupo *Components* en el panel izquierdo de DIP.

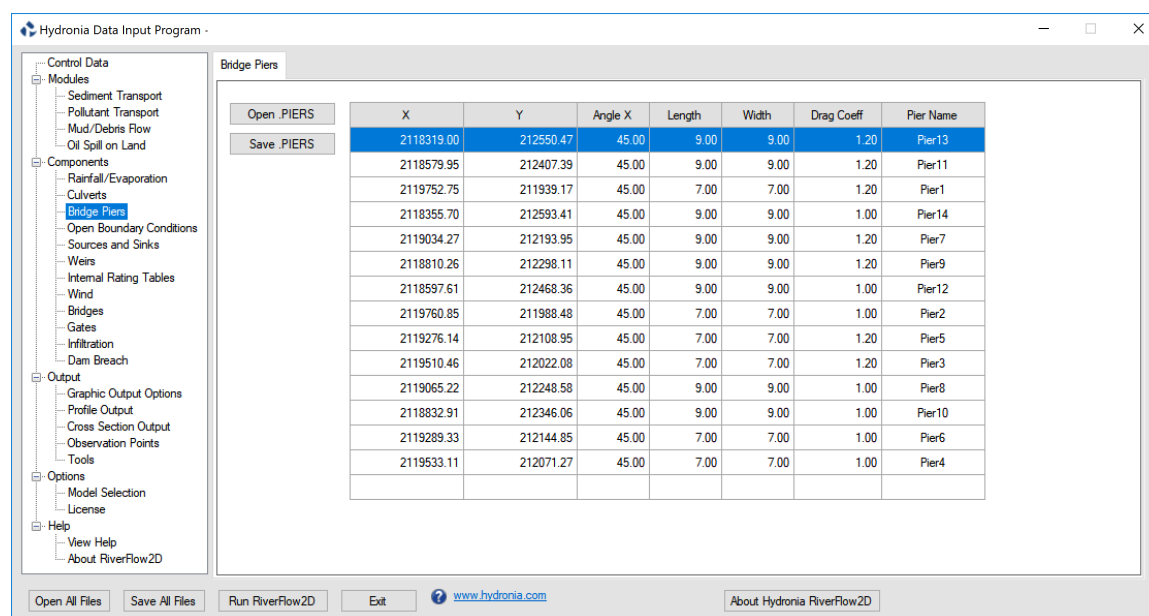


Figura 14.16 – Panel de pilas de puentes.

- **X,Y:** Coordenadas del centroide del pilar.
- **Angle X:** Ángulo del pilar respecto al eje X.
- **Length:** Longitud del pilar (m o pies).
- **Width:** Ancho del pilar (m o pies).
- **Drag Coeff.:** Coeficiente de arrastre del pilar.
- **Pier Name:** Nombre del pilar. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **Open:** Abre un archivo existente.
- **Save:** Guarda solo los datos de los pilares del puente en un archivo.

Nota

Para simular pilares circulares, utilice el mismo ancho y largo y establezca un coeficiente de arrastre adecuado para pilares redondos.

14.15 Panel de Puntos de Observación (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.

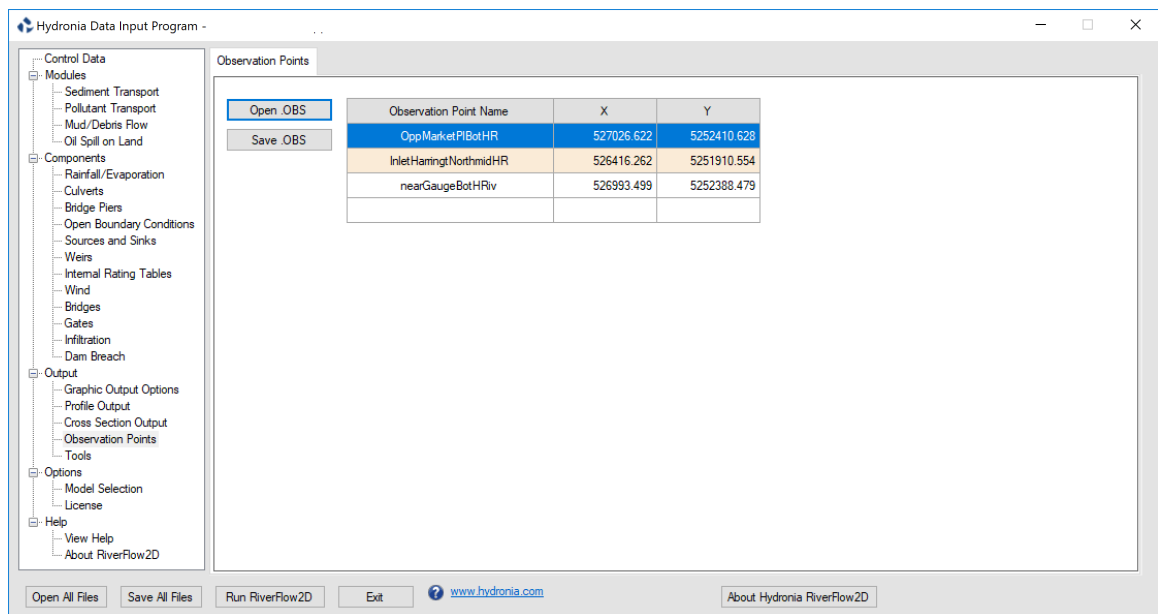


Figura 14.17 – Panel de puntos de observación.

- **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 solo los datos del punto de observación en un archivo.

14.16 Panel de herramientas

Esta sección describe varias utilidades que están disponibles a través de DIP. Para activar este panel, primero seleccione *Tools* del grupo *Output* en el panel izquierdo.

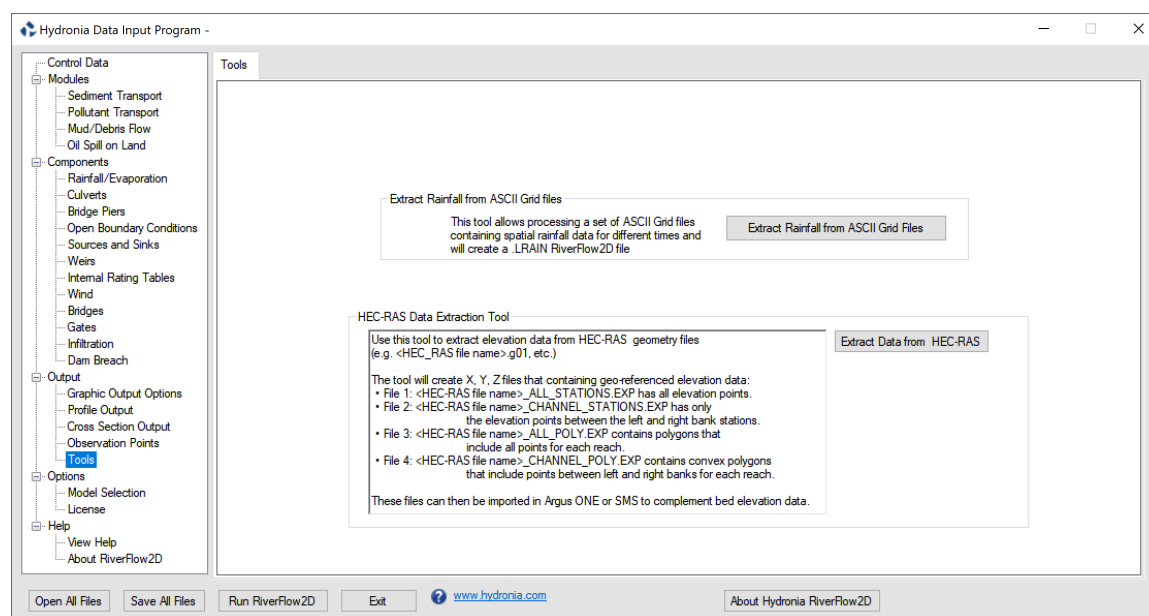


Figura 14.18 – Panel de herramientas.

14.16.1 Procesar datos de lluvia y evaporación desde la herramienta de archivos de cuadrícula ASCII

Puede utilizar esta herramienta para procesar archivos de cuadrícula ASCII de lluvia (por ejemplo, NEXRAD) y evaporación para preparar archivos de datos de inundaciones HydroBID que se pueden utilizar para simulaciones hidrológicas. El programa le permitirá extraer datos de un conjunto de archivos de cuadrícula ASCII de precipitación y evaporación puntuales y crear un archivo en el formato legible por HydroBID Flood.

Para utilizar la herramienta, primero debe crear un archivo con un editor de texto (por ejemplo, el Bloc de notas) usando 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 el archivo ASCII de cuadrícula de lluvia correspondiente a ese tiempo Ti.

Opcionalmente, si tiene un conjunto de archivos de evaporación, agregue las siguientes líneas:

Número de archivos de evaporación ASCII (debe ser igual a NRF)

NEV

Líneas NEV que contienen:

Ti EVAPFILEi.ASC

Donde Ti es el tiempo en horas y el archivo ASCII de cuadrícula de evaporación correspondiente a ese tiempo Ti.

Se supone que en los archivos ASCII de lluvia y evaporación los valores se dan en mm o in. Dado que HydroBID Flood 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) en la primera línea es positivo, se asumirá que la lluvia/evaporación se da en puntos y se interpolará en cada celda. Si el número es negativo, el programa considerará la lluvia/evaporación dada en cuadrados centrados en cada punto de la cuadrícula, y luego la precipitación de la celda será la de la cuadrícula donde se ubica el centroide de la celda. Este último método no implica interpolación y es más rápido que el primer método.

Una vez que haya creado el archivo y los archivos estén ubicados en la misma carpeta, utilice el botón *Extract Rainfall from ASCII Grid Files Tool*, seleccione el archivo y haga clic en Abrir.

Espere unos momentos e ingrese el nombre del archivo. El proceso de conversión tardará unos segundos o minutos dependiendo de la cantidad de archivos y su tamaño.

Para utilizar el archivo resultante, cópielo en la carpeta del proyecto y asígnele el mismo nombre base que a los archivos del proyecto.

14.16.1.1 Ejemplo de un archivo .RFC con lluvia únicamente

```
-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 HEC-RAS

El propósito de esta herramienta es facilitar la migración de proyectos HEC-RAS existentes a HydroBID Flood. El programa permite extraer datos de elevación de puntos de secciones transversales georreferenciadas del modelo unidimensional HEC-RAS desarrollado por el USACE. La herramienta lee archivos de geometría HEC-RAS con sus extensiones correspondientes y crea archivos X Y Z que se pueden importar fácilmente a QGIS. La utilidad distingue las elevaciones del canal entre las márgenes izquierda y derecha de cada sección transversal y exporta los archivos como se detalla en la siguiente tabla.

& Contiene todos los puntos de elevación en todas las secciones transversales de todos los tramos y secciones transversales del archivo.

& Contiene polígonos que incluyen todos los puntos de elevación en cada tramo.

& Contiene solo los puntos de elevación entre las orillas izquierda y derecha en todas las secciones transversales de todos los tramos del archivo.

& Contiene polígonos que incluyen solo la elevación en el canal principal para cada tramo.

15 | Referencia de archivos de datos de entrada

Los archivos de datos no espaciales necesarios para ejecutar HydroBID Flood están en formato ASCII de forma libre, que puede abrirse con cualquier editor de texto o programa de hojas de cálculo. En algunos casos puede resultar 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 HydroBID Flood. Esta sección explica los archivos de datos de entrada y los parámetros incluidos en cada archivo.

El programa de instalación de HydroBID Flood crea una carpeta con varios proyectos de ejemplo que se pueden consultar para revisar los archivos de datos del modelo. Dependiendo de su sistema operativo y su configuración, esta carpeta se puede encontrar en el directorio de proyectos de ejemplo de instalación.

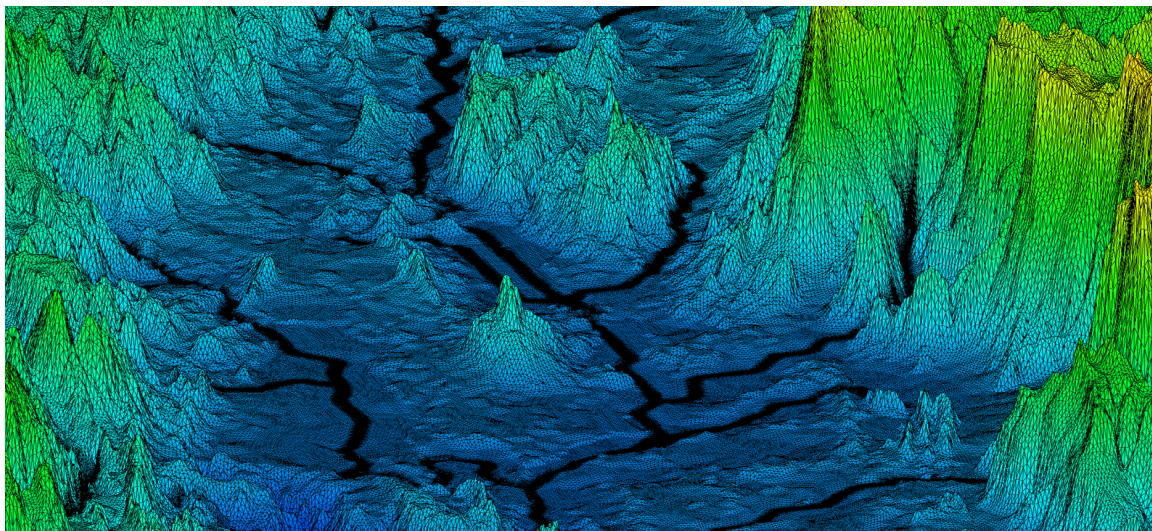


Figura 15.1 – Ejemplo de una malla de HydroBID Flood.

Los archivos de datos de HydroBID Flood compartirán el mismo nombre y utilizarán las extensiones que se enumeran en la siguiente tabla. Por ejemplo, una ejecución denominada Ejecución1 tendrá los archivos correspondientes, entre otros. La siguiente tabla resume los archivos de datos utilizados por HydroBID Flood.

Nota

La columna DEPENDENCIAS 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 otra computadora que realizará las simulaciones, o a una Máquina Virtual en un Servicio en la Nube.

- **QGIS project file:** Requerido cuando se utiliza HydroBID Flood; Este es el archivo del proyecto donde QGIS almacena todos los datos espaciales utilizados en el proyecto, incluida la malla de celdas triangulares.
- **Elevation data:** cualquiera; Requerido; Puntos de datos de elevación dispersos.
- **Triangle-cell mesh data:** Requerido; Coordenadas y elevaciones de nodos, topología de malla triangular, tipo de condición de contorno y nombres de archivos, elevaciones iniciales del agua y coeficientes n de Manning.
- **Mesh boundary nodes:** Archivo interno; Lista de nodos de límites externos y de islas. Este archivo es generado internamente por HydroBID Flood.
- **I/O boundary conditions:** Archivo interno; Lista de nodos de límites externos, condiciones de entrada y salida. Este archivo es generado internamente por HydroBID Flood.
- **Boundary condition nodal file:** Requerido; 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 son necesarios para ejecutar el modelo y deben residir en la misma carpeta. Este archivo ahora lo genera internamente HydroBID Flood, según la información de entrada.
- **Run control data:** Requerido; Opciones generales de control de 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.
- **Plot results options:** Opcional; Opciones de salida gráfica.
- **Observation points data:** Opcional; Ubicación de los puntos de observación donde el modelo reportará series temporales de resultados.
- **Cross section output:** Opcional; Lista de secciones transversales donde el modelo generará resultados. Cada sección transversal está definida por las coordenadas de sus dos puntos finales.
- **Profile output:** Opcional; Corte del perfil de malla donde se desean resultados.
- **Time series or rating table files for inflow or outflow boundary conditions:** definido por el usuario; Requerido; Hidrograma, elevaciones de la superficie del agua frente al tiempo, etc. El modelo requiere un archivo para cada condición de límite abierto, excepto los tipos de condiciones de límite “libres”.
- **Initial concentration of each pollutant:** Requerido cuando se utiliza el módulo de Transporte de Contaminantes.; Define las concentraciones iniciales sobre la malla.

- **Bridges:** Requerido cuando se utiliza el componente Puentes.; El archivo de geometría de la sección transversal del puente se utiliza para calcular las pérdidas de energía.
- **Culverts:** Requerido cuando se utiliza el componente Culvert.; Ubicación de la alcantarilla y archivos de datos de la alcantarilla asociados.
- **Dam Breach:** Requerido cuando se utiliza el componente Dam Breach.; Ubicación y datos de la ruptura de la presa.
- **Gates:** Requerido cuando se usa el componente Gates.; Ubicación de la puerta y archivos de datos de apertura de puerta asociados.
- **Infiltration:** Requerido cuando se usa el componente Infiltración.; Archivo de datos de parámetros de infiltración.
- **Internal rating tables:** Requerido cuando se utiliza el componente Tabla de calificación interna.; Datos para imponer tablas de clasificación de descargas a lo largo de los límites internos.
- **Manning's n variable with depth:** Requerido cuando se usa la variable n de Manning con profundidad.; Proporciona los parámetros necesarios para tener en cuenta el coeficiente de rugosidad n de Manning que varía con la profundidad según una tabla proporcionada por el usuario. Creado a partir de polígonos en la capa ManningsNz.
- **Bridge piers:** Se selecciona el componente pilares; Datos de pilares de puentes utilizados para calcular las fuerzas de arrastre de pilares.
- **Rainfall/Evaporation:** Requerido cuando se usa el componente Lluvia/Evaporación.; Series temporales de precipitaciones y evaporación.
- **Sources and sinks:** Requerido cuando se utiliza el componente Fuentes.; Este archivo contiene la ubicación de las fuentes de descarga de entrada o los sumideros de descarga de salida y las series temporales asociadas de archivos de datos de descarga.
- **Weirs:** Requerido cuando se usa el componente Weir.; Este archivo contiene polilíneas de vertederos y datos de vertederos asociados.
- **Wind:** Requerido cuando se usa el componente Viento.; Este archivo contiene datos específicos de densidad y velocidad del viento.
- **Bridge Scour:** Requerido 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:** Requerido cuando se utiliza el módulo de flujo de lodo/relaves.; Proporciona los parámetros necesarios para modelar el flujo de lodo y relaves.
- **Oil Spills on Land:** Requerido cuando se utiliza el modelo OilFlow2D para simular derrames terrestres.; Proporciona los parámetros necesarios para modelar derrames de petróleo terrestres.
- **Oil Spills on water:** Requerido cuando se utiliza el modelo OilFlow2D para simular derrames de petróleo sobre el agua.; Proporciona los parámetros necesarios para modelar derrames de petróleo en el agua.

- **Pollutant transport:** Requerido cuando se utiliza el módulo de Transporte de Contaminantes.; Datos de contaminantes pasivos o reactivos.
- **Bed load sediment transport:** Requerido cuando se utiliza el módulo de transporte de sedimentos.; Datos de transporte de sedimentos de carga de fondo.
- **Suspended sediment transport:** Requerido cuando se utiliza el módulo de transporte de sedimentos.; Datos de transporte de sedimentos suspendidos.
- **Water Quality:** Requerido cuando se utiliza la Calidad del Agua; Parámetros de calidad del agua.

15.1 Datos de control de ejecución

15.1.1 Archivo de datos de control de 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 procesos físicos o los cambios de componentes, y las opciones de salida gráfica y condiciones iniciales.

Línea 1: Número de versión interna del programa.

RELEASE

Línea 2: Selector de modelo.

IMS

Línea 3: Procesos físicos o cambios de componentes.

IRAIN ISED IPIERS IWEIRS ICULVERTS ISOURCES IINTRC IBRIDGES IGATES IDAMS ISWMM

Línea 4: cambio de método de lecho húmedo-seco.

IWETDRY

Línea 5: interruptores de control de salida.

IEXTREMES IXSEC IPROFILE NOGRAPH IOBS

Línea 6: Datos de control de tiempo.

DUMMY CFL DUMMY TOUT TLIMIT

Línea 7: Condiciones iniciales e interruptores de control de arranque en caliente.

IINITIAL IHOTSTART

Línea 8: variable n de Manning con cambio de profundidad.

IMANN

Línea 9: Factor de multiplicación global del valor n de Manning.

XNMAN

Línea 10: Cambio de informe de balance de masa.

IMASSBAL

Línea 11: conmutador 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: Cambio de modelos de Transporte de contaminantes / Calidad del Agua.

IPOLLUTANT

Línea 15: Cambio de estrés por viento.

IWIND

Línea 16: Cambio de modelos de flujo de lodo/relaves y derrame 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 de GPU RiverFlow2D y RiverFlow2D. Número de Courant. El valor predeterminado está establecido en 1,0. Es posible que sea necesario configurar CFL en valores más bajos si los resultados muestran signos de oscilaciones inesperadas.
- **DUMMY:** R; -; -; Parámetro ficticio para uso futuro. Ignorado en HydroBID Flood.
- **HMIN:** R; -1 o > 0; m/ft; En HydroBID Flood 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; ≥ 0 ; m/ft; El modelo informará el tiempo de llegada de la inundación o de la onda frontal a cada celda cuando la profundidad de la celda alcance HARRIVAL por primera vez durante la simulación.
- **IADDISP:** I; 0,1; -; Cambia para activar el modelo de transporte de contaminantes.

1. Desactivar los cálculos de transporte de contaminantes.
2. Aplicar transporte de contaminantes.

- **IBRIDGES:** I; 0,1; -; Interruptor para activar el componente Puentes.

1. Desactive el componente Puentes.
2. Aplicar el componente Puentes.

Requiere 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. Utilice alcantarillas.

Requiere archivo. Consulte los detalles en la sección *Culverts* de este manual.

- **IDAMS:** I; 0,1; -; Interruptor para activar el componente Dam Breach.

1. Desactive el componente Dam Breach.
2. Aplique el componente Dam Breach.

Requiere archivo. Consulte los detalles en la sección *Dam Breach* de este manual.

- **IDGPU:** I; ≥ 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 computadora tiene varias tarjetas GPU, este parámetro le 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 diferentes tarjetas.

- **IEXTREMES:** I; 0,1; -; Cambie a informar valores máximos durante toda la simulación.

1. No reportar valores máximos.
2. Informar los valores máximos.

- **IGATES:** I; 0,1; -; Interruptor para activar el componente Gates.

1. Apague el componente Gates.
2. Aplicar el componente Gates.

Requiere 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 archivos HydroBID Flood.

1. SMS Aquaveo
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 peligros.

- **IHOTSTART:** I; 0,1; -; Interruptor para iniciar a ejecutar desde cero o continuar una simulación anterior.

1. Inicie la simulación desde el momento inicial.
2. Inicie la simulación desde la ejecución anterior.

- **IINTRC:** I; 0,1; -; Interruptor para tablas de clasificación interna.

1. No utilice el componente de la tabla de clasificación interna.
2. Utilice tablas de calificación internas.

Consulte los detalles en la sección *Internal Rating Tables* de este manual.

- **IINITIAL:** I; 0,1,2,-9999; -; Interruptor de condición inicial para elevaciones de la superficie del agua.

1. Elevación horizontal prescrita de la superficie del agua
2. Lecho seco inicial sobre toda la malla.
3. Elevaciones iniciales de la superficie del agua leídas del archivo. El valor -9999 asigna una elevación horizontal del agua igual a la elevación máxima del lecho más 0,5 m (1,64 pies). Ver comentario 3.

- **INITIAL_WSE:** R; -; m/ft; Elevación inicial de la superficie del agua en todas las mallas. Esta será la superficie de agua inicial si IINITIAL es 0. Ver comentario 3.
- **IMANN:** I; 1,2; -; N de Manning variable con interruptor de profundidad.

1. La n de Manning es constante para todas las profundidades.
2. La n de Manning puede variar con las profundidades definidas en el archivo.

- **IMASSBAL:** I; 0,1; -; Interruptor de informe de balance de masa. Se utiliza para definir cuándo calcular el balance de masa y crear el archivo.

1. El balance de masa no se calcula en cada paso de tiempo y no se crea.
2. El balance de masa se calcula y se crea en cada paso de tiempo.

Ver comentario 9.

- **IMDOIL:** I; 0-3; -; Interruptor para seleccionar el modelo de lodo/relaves/aceite.

1. No haga funcionar modelos de lodo/relaves/aceite.
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. Ejecutar el modelo de derrame de petróleo en flujo terrestre. 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 el 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; -; Interruptor de modelo utilizado para seleccionar el modelo de motor hidrodinámico.

1. RiverFlow2D.
2. GPU RiverFlow2D.

- **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 (nombrado como ID de fuente) para cada fuente y realizará ejecuciones independientes en cada subdirectorio.

1. Se considerarán actuando simultáneamente todas las fuentes.
2. El modelo realizará tantas ejecuciones como fuentes estén definidas.

- **IOBS:** I; 0,1; -; Interruptor para informar series temporales de resultados en ubicaciones específicas definidas por coordenadas.

1. No informar sobre puntos de observación.
2. Informe sobre puntos de observación.

Requiere archivo. Consulte los detalles en la sección *Observation Points* de este manual.

- **IPIERS:** I; 0,1; -; Interruptor para permitir tener en cuenta la fuerza de arrastre del pilar.

1. No utilice la opción de fuerza de arrastre del pilar.
2. Utilice la opción de fuerza de arrastre del pilar.

Requiere un archivo. Esta opción se puede utilizar si la malla no tiene en cuenta la geometría del pilar. Consulte los detalles en la sección *Bridge Piers Section* de este manual.

- **IPOLLUTANT:** I; 0,1, 2; -; Interruptor para seleccionar el modelo contaminante.

1. No haga funcionar modelos de transporte de contaminantes.
2. Ejecutar el modelo de reacción-advección-dispersión del transporte de contaminantes. Requiere archivo.
3. Ejecutar el modelo de calidad del agua. Requiere archivo.

Consulte los detalles en la sección *Pollutant Transport and Water Quality Models* de este manual.

- **IPROFILE:** I; 0,1; -; Variable para controlar la salida del perfil.

1. No se generan resultados de perfil.
2. Los resultados se generarán según un perfil prescrito.

Requiere archivo. Ver comentario 4.

- **IRAIN:** I; 0-4; -; Interruptor para entrada de lluvia y evaporación.

1. Sin modelización de precipitaciones.
2. No utilizado.
3. Precipitaciones/evaporación.
4. Infiltración.
5. Precipitaciones/evaporación e Infiltración.

- **ISED:** I; 0,1; -; Interruptor de transporte de sedimentos.

1. Sin modelización del transporte de sedimentos.
2. Se simularán el transporte de sedimentos, la erosión del lecho móvil y la deposición. Requiere uno o varios archivos.

Consulte los detalles en la sección *Sediment Transport* de este manual.

- **ISCOUR:** I; 0,1; -; Interruptor para realizar cálculos de socavación.

1. Desactive 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; -; Cambio para fuentes y sumideros.

1. No hay fuentes ni sumideros presentes.
2. Hay fuentes o sumideros presentes. Requiere archivo.
3. Las fuentes o sumideros están presentes, pero cada fuente se resolverá como escenarios separados en diferentes subdirectorios nombrados según cada ID de fuente. Requiere archivo.

Consulte los detalles en la sección *Sources* de este manual.

- **ISWMM:** I; 0,1; -; Interruptor para vinculación con modelo EPA-SWMM.

1. Desactivar enlace con el modelo EPA-SWMM.
2. Calcular el flujo de agua superficial y la interacción con los drenajes pluviales con el modelo EPA-SWMM. Requiere archivo y un archivo de modelo SWMM compatible.

- **IWEIRS:** I; 0,1; -; Cálculo de vertedero en interruptor de límite interno.

1. No utilice el cálculo del vertedero en los límites internos.
2. Utilice el cálculo del vertedero en los límites internos.

Consulte los detalles en la sección *Weirs* de este manual.

- **IWIND:** I; 0,1; -; Interruptor para tener en cuenta la tensión del viento en la superficie del agua.

1. No considere el estrés del viento.
2. Considere el estrés del viento. Requiere archivo.

Consulte los detalles en la sección *Wind Stress* de este manual.

- **IXSEC:** I; 0,1; -; Interruptor de salida de sección transversal.

1. No hay salida del resultado de la sección transversal.
2. Los resultados de la sección transversal se enviarán a un archivo. Requiere archivo. Ver comentario 5.

- **NOGRAPH:** I; 0,4; -; Variable para controlar el cierre automático de la ventana de seguimiento de ejecución del modelo.

1. La ventana permanece abierta hasta que el usuario haga clic en el botón cerrar.
2. Las ventanas del modelo se cerrarán automáticamente tan pronto como finalice la ejecución.

- **NUNITS:** I; 0,1; -; Variable para indicar sistema unitario:

1. Unidades métricas.
 2. Unidades inglesas.
- **RELEASE:** I; -; -; ID del número de versión utilizado internamente como referencia. No debe modificarse.
 - **TLIMT:** R; > 0; h.; Tiempo total de simulación.
 - **TOUT:** R; ≤ *TLIMT*; h.; Intervalo de tiempo de salida para informar resultados.
 - **XNMAN:** R; [0.1-2]; -; Coeficiente multiplicador n de Manning. Ver comentario 6.

15.1.1.2 Comentarios para el archivo .DAT

1. Establecer el CFL (Courant Friedrich-Lewy) o el número de Courant es fundamental para una estabilidad adecuada y garantizar la conservación de la masa. El esquema de tiempo explícito de HydroBID Flood es condicionalmente estable, lo que significa que hay 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, Δx 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 el adecuado. Sin embargo, durante la simulación, las velocidades y la profundidad del flujo pueden aumentar provocando que se exceda la condición de estabilidad. En esos casos será necesario volver a ejecutar el modelo con una CFL más pequeña. Alternativamente, se puede utilizar la opción de paso de tiempo variable.

2. Para simulaciones de pasos de tiempo variables, HydroBID Flood estima el DT máximo utilizando la condición teórica de Courant-Frederick-Lewy (CFL). A veces, el DT estimado puede ser demasiado alto, lo que genera inestabilidades y puede ser necesario reducir el CFL a un valor inferior a uno para ajustarlo. Los valores típicos de CFL oscilan 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 en la elevación dada como INITIAL_WSE. Si INITIAL_WSE es = -9999, entonces el programa asignará una elevación de agua constante igual a la elevación más alta del lecho en la malla. Si IINITIAL = 1, toda la malla computacional estará inicialmente seca, excepto en los límites abiertos donde se prescribe la descarga y se asume 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 HydroBID Flood genere resultados a lo largo de una polilínea. La polilínea y otros datos requeridos se deben proporcionar en el archivo de Perfiles, que se define más adelante en este documento.
5. Utilice esta opción para permitir que HydroBID Flood genere resultados a lo largo de secciones transversales prescritas. Las secciones transversales y otros datos requeridos deben

proporcionarse en el archivo de secciones transversales 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 a la n de Manning durante la calibración del modelo.
7. El modelo creará archivos de salida con valores máximos de cada variable de salida.
8. El usuario puede especificar una configuración inicial de elevación de la superficie del agua IINITIAL = 0 e ingresar INITIAL_WSE.
9. El usuario puede seleccionar si el modelo calculará o no el balance de masa. Esto tiene implicaciones particularmente en el modelo de GPU, ya que los cálculos del balance de masa se realizan en la CPU, con la consiguiente sobrecarga de rendimiento y aumento del tiempo de ejecución. Puede activarlo para revisar cómo el modelo conserva el volumen o la masa. Una vez comprobado esto, se recomienda desactivarlo para obtener el máximo rendimiento.

15.2 Datos de malla

15.2.1 Archivo de datos de malla: .FED

Este archivo contiene los datos que definen la malla de celdas triangulares e incluye coordenadas de nodos, conectividad para cada celda triangular, elevaciones de nodos, coeficientes n de Manning y otros parámetros. Este archivo es creado por HydroBID Flood. HydroBID Flood garantiza que el archivo se creará sin errores y será consistente con las condiciones de contorno y otros parámetros de la malla. La edición de este archivo fuera de HydroBID Flood puede provocar errores inesperados.

Línea 1: Número de celdas y nodos.

NELEM NNODES DUMMY DUMMY

Líneas NNODES que contienen coordenadas de nodo y parámetros de nodo.

IN X(IN) Y(IN) ZB(IN) INITWSE(IN) MINERODELEV(IN) BCTYPE BCFILENAME

Líneas NELEM que contienen conectividad de malla y parámetros de celda.

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, 1048 nodos.

- **BCTYPE:** I; -; -; Código para indicar tipo de límite abierto. Consulte más detalles sobre las condiciones de contorno en la descripción del archivo a continuación.
- **BCFILENAME:** S; < 26; -; Nombre del archivo de condición de contorno. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres. Consulte más detalles en la descripción del archivo a continuación.
- **DUMMY:** I; -; -; Siempre igual a 2.
- **ELINITWSE(IE):** R; -; m o ft; Elevación inicial de la superficie del agua para la celda EL. Utilizado en GPU RiverFlow2D y RiverFlow2D.
- **ELMINERODELEV (IE):** R; ≥ 0 ; -; Elevación mínima de erosión permitida en cada celda. Utilizado en GPU RiverFlow2D y RiverFlow2D.
- **ELZB (IE):** R; -; m o ft; Elevación inicial del lecho para la celda EL. Utilizado en GPU RiverFlow2D y RiverFlow2D.
- **INITWSE(IN):** R; -; m o 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; ≥ 0 ; m o 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 dados en sentido antihorario.
- **X(IN):** R; -; m o ft; Coordenada X del nodo IN.
- **Y(IN):** R; -; m o ft; Coordenada Y del nodo IN.
- **ZB (IN):** R; -; m o ft; Elevación inicial del lecho para el nodo IN.

15.2.2 Abrir archivos de datos de condiciones de contorno: .IFL y .OBCP

Estos archivos contienen datos de condiciones de contorno que el modelo utiliza únicamente internamente. Ambos archivos son generados internamente por HydroBID Flood. El formato del archivo es el siguiente

Línea 1: Número de nodos en el límite externo.

NNODESBOUNDARY

Líneas NNODESBOUNDARY que contienen los datos de las condiciones de contorno externas.

NODE BCTYPE BCFILENAME

15.2.2.1 Ejemplo de 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 (elevación de la superficie del agua) y la serie temporal de elevaciones de la superficie del agua frente al tiempo está en el archivo.

El formato del archivo es el siguiente

Línea 1: Número de límites abiertos de entrada y salida.

NOB

NOB grupos de líneas que contienen los siguientes datos.

BCTYPE

BCFILENAME

NNODESBOUNDARYI

NNODESBOUNDARYI líneas que contienen la lista de nodos en este límite.

NODE(I)

15.2.2.2 Ejemplo de un archivo .OBCP

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 la salida de flujo uniforme. La tabla WSE frente a descarga de flujo uniforme se incluye en el archivo y hay 24 nodos en el límite. El segundo límite abierto es BCTYPE = 6 correspondiente al hidrograma de entrada, cuya tabla de descarga frente al tiempo se proporciona en el archivo, y hay 17 nodos en el límite.

- **BCTYPE:** I; -; -; Código para indicar tipo de límite abierto. Ver Tabla y comentario 1.
- **BCFILENAME:** S; < 26; -; Nombre del archivo de condición de contorno. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres. Ver 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 impermeable cerrado. Se impone una condición de contorno de deslizamiento (sin flujo normal). Ver comentario 5.
- **1:** Impone la elevación de la superficie del agua. Se debe proporcionar un archivo de condiciones de contorno asociado. Ver comentarios 2 y 4.
- **6:** Impone descarga de agua. Se debe proporcionar un archivo de condiciones de contorno asociado. Ver comentario 2.
- **9:** Impone una tabla de clasificación de descarga de etapa de valor único. Se debe proporcionar un archivo de condiciones de contorno asociado. Ver comentario 6.
- Condición de flujo de entrada o salida **10:** Libre". Las velocidades y elevaciones de la superficie del agua son calculadas por el modelo. Ver comentario 7.
- **11:** Condición de salida libre". Las velocidades y elevaciones de la superficie del agua son calculadas por el modelo. Sólo se permite flujo de salida. Ver comentario 7.
- **12:** Condición de salida de flujo uniforme. Ver 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 una velocidad perpendicular a la línea de entrada. Se debe proporcionar un archivo de condiciones de contorno asociado. Ver comentarios 2 y 4.
- **19:** Impone una tabla de clasificación de descarga de etapa de valor único a lo largo de una polilínea interna. Se debe proporcionar un archivo de condiciones de contorno asociado. Ver comentario 8.
- **26:** Impone series temporales de descargas de agua y descargas de sedimentos. Se debe proporcionar un archivo de condiciones de contorno asociado. Ver comentario 9.

15.2.2.3 Comentarios para los archivos .IFL y .OBCP

1. HydroBID Flood permite tener cualquier número de límites de entrada y salida con varias combinaciones de condiciones impuestas. El uso adecuado de estas condiciones es un componente crítico para una simulación exitosa de inundaciones HydroBID. Teóricamente, para el flujo subcrítico se requiere proporcionar al menos una condición en los límites del flujo de entrada y otra para los límites del flujo de salida. Para el flujo supercrítico se deben imponer todas las condiciones en los límites del flujo de entrada y “ninguna” en los límites del flujo de salida. La tabla ayuda a determinar qué condiciones utilizar para la mayoría de las aplicaciones.

- **Subcritical:** Q o Velocidad; Elevación de la superficie del agua
- **Supercritical:** Q y WSE; Libre

Nota

Se recomienda tener al menos un límite donde se prescribe WSE o descarga por etapas. Tener sólo descarga y ningún WSE puede dar lugar a imprecisiones debido a la violación de los requisitos teóricos de las condiciones de contorno de las ecuaciones de aguas poco profundas.

2. Al imponer una sola variable (elevación de la superficie del agua o caudal Q), el usuario deberá proporcionar un archivo ASCII con la serie temporal de la variable correspondiente. Consulte la sección Archivos de datos de condiciones de contorno para obtener detalles sobre el formato de archivos de condiciones de contorno de una variable.
3. Al imponer dos variables (elevación de la superficie del agua y caudal Q, etc.), se requiere proporcionar un archivo ASCII con las series de tiempo de las variables. Consulte la sección Archivos de datos de condiciones de contorno para obtener detalles sobre el formato de 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 HydroBID Flood puede ejecutarse con esa condición, podría provocar errores de conservación de volumen.
5. Se impone una condición de límite cerrado por defecto en todos los nodos de límite. En este caso, el modelo calcula las velocidades y las elevaciones de la superficie del agua para todos los nodos en el límite dependiendo del valor del parámetro ISPLIPBC. Por ejemplo, ISPLIPBC = 1 impondrá condiciones de deslizamiento que establecerán un flujo cero a través del límite. El flujo tangencial es libre correspondiente a una condición de deslizamiento.
6. Cuando se utiliza una condición de descarga de etapa de valor único, el modelo primero calcula la descarga en el límite, luego interpola la elevación de la superficie del agua correspondiente de la tabla de clasificación e impone ese valor para el siguiente paso de tiempo. En caso de que el límite esté seco, funciona como un límite de condición libre (véase el comentario 7). Las elevaciones de la superficie del agua se imponen solo en nodos húmedos. Esta condición requiere proporcionar un archivo ASCII con las entradas de valores de la tabla.

Consulte la sección Archivos de datos de condiciones de límites para obtener detalles sobre el formato del archivo. En general, es preferible utilizar un hidrograma por etapas en lugar de una condición de descarga por etapas. En la mayoría de los ríos de pendiente pequeña, la relación etapa-caudal se ve afectada por la histéresis. En otras palabras, la curva etapa-descarga forma un bucle y se producen descargas más altas 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 pueden existir dos etapas posibles para una misma descarga. Si la relación etapa-caudal no se conoce bien o si simplemente se calcula suponiendo un flujo uniforme en estado estacionario, puede dar lugar a errores considerables cuando se utiliza como condición límite aguas abajo. Es por eso que a menudo se prefiere utilizar el hidrograma por etapas para ese fin. Sin embargo, dicho hidrograma puede no estar disponible para estudiar los cambios en el río y evaluar las condiciones propuestas. Para esos casos, es útil utilizar una relación etapa-caudal, preferiblemente medida en una amplia gama de caudales. Cuando esta relación no está disponible, una opción sería asumir un flujo en estado estacionario para determinar una curva de calificación de valor único. Dado que esta condición puede generar reflexión de olas que puede propagarse río arriba, es importante ubicar el límite río abajo en un tramo suficientemente alejado del área de interés, minimizando así los efectos artificiales del remanso. Desafortunadamente, no existe una forma general de seleccionar dicho lugar, pero será necesario realizar experimentos numéricos con el modelo real para lograr una ubicación razonable.

Nota

Las relaciones entre etapa y descarga del circuito no se implementan en esta versión de HydroBID Flood.

7. En los límites de las condiciones de flujo 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 valores específicos para velocidades o profundidades *per se* en estos nodos. En la práctica, esto equivale a suponer que las derivadas de las elevaciones y velocidades de la superficie del agua son 0. En situaciones de flujo subcrítico, es aconsejable utilizar esta condición cuando hay al menos otro límite abierto donde se impone WSE o descarga escalonada.
8. Cuando se utiliza una condición de descarga de etapa de valor único en secciones internas, el modelo primero calcula la descarga a través del límite y luego interpola la elevación de la superficie del agua correspondiente de la tabla de clasificación, imponiendo ese valor para el siguiente paso de tiempo para todos los nodos en el límite interno. Esta condición requiere proporcionar un archivo ASCII con las entradas de valores de la tabla. Consulte la sección *Boundary Conditions Data Files* para obtener detalles sobre el formato de archivo.
9. Al imponer un vertido de agua y sedimentos, se requiere proporcionar un archivo ASCII con las series temporales de vertido de agua y vertido volumétrico de sedimentos para cada una de las fracciones. Tenga en cuenta que la descarga de sedimentos siempre se espera en vol-

umen por unidad de tiempo. Consulte la sección *Boundary Conditions Data Files* para obtener detalles sobre el formato de archivos de condiciones de contorno de múltiples variables.

10. El usuario deberá proporcionar un fichero con la pendiente de energía S_0 para el límite correspondiente. Este archivo solo contendrá un valor único S_0 . El modelo utilizará S_0 , n de Manning y descarga para crear una tabla de clasificación a partir de la cual se impondrán las elevaciones de la superficie del agua en función de la descarga de salida calculada. La tabla de clasificación se calcula cada 0,05 m (0,16 pies) comenzando desde la elevación más baja del lecho en la sección transversal del flujo de salida hasta 50 m (164 pies) por encima de la elevación más alta del lecho en la sección. Si $S_0 = -999$, el modelo calculará la pendiente promedio del lecho perpendicular a la línea límite. Tenga en cuenta que al permitir que el modelo calcule la pendiente promedio del lecho, utiliza las elevaciones en las celdas adyacentes a la línea límite, lo que puede resultar en pendientes adversas o pendientes que no capturan la tendencia general del tramo.
11. Esta condición de contorno es similar a BCTYPE = 6 para la descarga de agua de entrada. Sin embargo, en este caso, en lugar de convertir la descarga en velocidades que se imponen en todos los nodos de entrada; el modelo crea fuentes en todas las celdas adyacentes a la línea límite. La condición entonces se puede visualizar como si la descarga dada ingresara a través de las celdas de flujo de entrada. Para cada vez, el modelo divide uniformemente la descarga entre todas las celdas de entrada. Por ejemplo, si hay celdas de entrada de N_e y la descarga impuesta es Q_{in} , cada celda recibirá una descarga igual a Q_{in}/N_e . El volumen de agua fluirá naturalmente lejos del flujo de entrada dependiendo de las pendientes del lecho, etc. Se debe tener cuidado cuando las celdas límite del flujo de entrada tienen elevaciones del lecho más bajas que las celdas circundantes. Al imponer esta condición el usuario deberá proporcionar un archivo ASCII con la serie temporal de descarga. Consulte la sección *Boundary Conditions Data Files* para obtener detalles sobre el formato de archivos de condiciones de contorno de una variable.

15.2.3 Archivo de datos de límites de malla: .TBA

El archivo es para uso interno del modelo y contiene la lista de nodos de límite en orden antihorario para el polígono de límite externo y en sentido horario para los límites internos. **Este archivo lo genera internamente HydroBID Flood.**

Línea 1: Inicio del indicador de límite.

IBOUNDARYID

Línea 2: Número de nodos en el límite externo de la malla.

NNODESBOUNDARY

Líneas NNODESBOUNDARY que contienen la lista de nodos de límite en sentido antihorario.

BOUNDARYNODE (1:NNODESBOUNDARY)

Las siguientes líneas solo se utilizan si hay islas en la malla.

Para cada isla:

Indicador de parámetro de inicio de límite para cada isla o contorno cerrado interno.

IBOUNDARYID

Número de nodos en el límite de la isla.

NNODESISLANDBOUNDARY

NNODESISLANDBOUNDARY líneas que contienen la lista de nodos de límite en el sentido de las agujas del reloj.

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 límite 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 límite.
- **NNODESBOUNDARY:** I; > 0; -; Número de nodos en el límite externo de la malla.
- **BOUNDARYNODE:** I; > 0; -; Número de nodo en el límite externo. Ver comentarios 1 y 2.
- **NNODESISLANDBOUNDARY:** I; > 0; -; Número de nodos en el límite de la isla.
- **ISLANDBOUNDARYNODE:** I; > 0; -; Número de nodo en el límite de la isla.

15.2.3.2 Comentarios para el archivo .TBA

1. Debe haber un único polígono límite externo y cualquier número de islas internas o contornos cerrados.
2. El límite externo también debe ser el primero en el expediente. El primer límite debe ser siempre el externo. Los límites internos como islas, pilares, etc. deben seguir el polígono de dominio externo.

15.3 Puentes

HydroBID Flood ofrece cuatro opciones para contabilizar los pilares de los puentes. La opción más común es crear la geometría del plano de la pila generando una malla de celdas triangulares 2D que represente cada pila como un obstáculo sólido. En ese caso, el modelo calculará el flujo alrededor del pilar y tendrá en cuenta la resistencia del pilar. Este sería el enfoque preferido cuando el usuario

necesita conocer el flujo detallado alrededor de los pilares y el flujo no sobrepasa la plataforma del puente. Sin embargo, la malla resultante puede tener celdas muy pequeñas, lo que lleva a un aumento del tiempo de procesamiento de las computadoras.

La segunda opción (*Bridge Piers*) es una formulación simplificada que no requiere definir la malla alrededor de los pilares, pero calculará la fuerza de arrastre de los pilares basándose en datos geométricos. Este sería el enfoque preferido cuando el flujo no sobrepasa el tablero del puente y el usuario no necesita tener una descripción detallada del flujo alrededor de los pilares, pero necesita tener en cuenta el efecto general que el pilar tendría sobre el flujo.

La tercera opción representada en el componente *Bridges* es una herramienta integral de cálculo de la hidráulica del puente que no requiere capturar en detalle la geometría del plano de los pilares del puente, por lo que permite pasos de tiempo más largos, al tiempo que permite calcular la hidráulica del puente teniendo en cuenta la alineación arbitraria del plano, la geometría compleja del puente, el flujo de superficie libre, el flujo de presión, el desbordamiento, el flujo de presión combinado y el desbordamiento, y la inmersión, todo 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 uno de los 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 genera internamente el modelo en función de la representación geométrica ingresada en HydroBID Flood. El archivo tiene el siguiente formato:

Línea 1: Número de puentes.

NUMBEROFBRIDGES

NUMBEROFBRIDGES líneas que contienen los datos de cada puente.

ID del puente.

BRIDGE_ID

Nombre del archivo de geometría de 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; -; Identificación del puente.
- **CELL_A(i) CELL_B(i):** I; -; -; Par de células 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 sección transversal de puente

El archivo de sección transversal de geometría del puente es necesario para definir la sección transversal del puente y está definido por cuatro polilíneas y dividido en cinco columnas de la siguiente manera:

Línea 1: Número de puntos que definen 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 cotas 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.

15.3.2.1 Ejemplo del archivo de datos de geometría de sección transversal

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

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

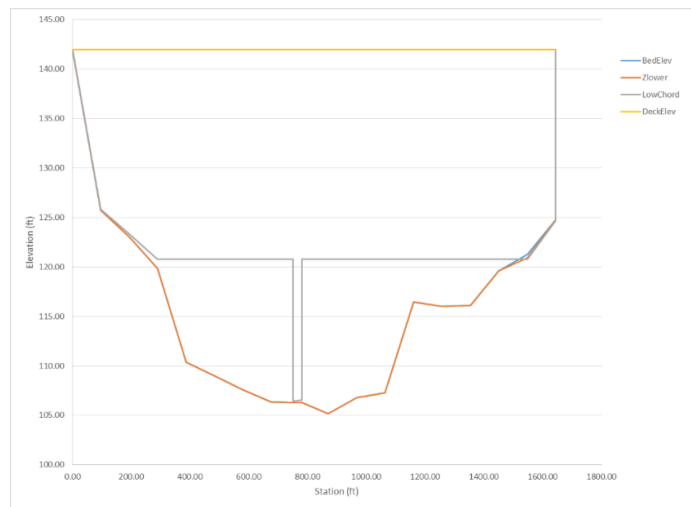


Figura 15.2 – Vista frontal de una sección transversal de puente.

- **BEDELEV:** R; -; m 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.
- **NP:** I; -; > 1; Número de puntos que definen polilíneas de sección transversal.
- **STATION:** R; -; m o ft; Distancia desde el punto más a la izquierda que define la polilínea de

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 a BEDELEV y menor o igual a LOWCHORD para un punto determinado. El espacio entre BEDELEV y ZLOWER es una zona bloqueada para el flujo. El espacio entre ZLOWER y LOWCHORD está abierto al flujo. Si el puente no tiene agujeros, ZLOWER debe ser idéntico a BEDELEV.
- **LOWCHORD:** R; -; m o ft; Elevación del tablero inferior del puente. LOWCHORD debe ser mayor o igual a ZLOWER y menor o igual a DECKELEV para un punto en 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. La descarga entre los extremos de entrada y salida de la estructura se calculará basándose en una tabla de clasificación de estructura hidráulica proporcionada por el usuario. El modelo determinará la dirección del flujo en función de las condiciones hidráulicas en los extremos de la estructura.

Línea 1: Número de versión del archivo Culvert.

CULFILEVER

Línea 2: Número de alcantarillas.

NCULVERTS

PARA CADA ALCANTARILLA (NCULVERTAS):

SI (CULFILEVER = 202208)

CulvertID

CulvertType

SI (El tipo de alcantarilla es 0, 1, 2, -3, -4, -5)

CulvertFile

X1 Y1 X2 Y2

ELSE IF (El tipo de alcantarilla es 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 (tipo de alcantarilla)

ELSE

CulvertID

CulvertType

CulvertFile

X1 Y1 X2 Y2

ENDIF (CULFILEVER)

FINAL (NCULVERTAS)

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 Culvert. La versión actual es 202208.
- **CulvertFile:** S; < 26; -; Tabla de clasificación de alcantarillas o nombre de archivo de características de alcantarillas. 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 alcantarilla. Ver 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 o ft; Coordenadas de los vértices que definen cada alineación de alcantarilla.

15.4.2 Archivos de datos de la tabla de clasificación de profundidad-descarga de alcantarilla para CulvertType=0

Este formato se aplica a la tabla de profundidad de la alcantarilla frente a clasificación de descarga.

Línea 1: Numerar puntos en series de datos

NDATA

Líneas NDATA que contienen profundidad y descarga.

DEPTH(I) Q(I)

Donde PROFUNDIDAD(I) es la profundidad correspondiente al caudal Q(I).

INVERT_Z1

INVERT_Z2

Donde INVERT_Z1 e INVERT_Z2 son las elevaciones inversas para la entrada y salida respectivamente.

15.4.2.1 Ejemplo de archivo de tabla de clasificación de profundidad-descarga de alcantarilla

El siguiente ejemplo muestra una tabla de clasificación de descarga en función de la profundidad 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
5.0
1.0

```

- **NDATA:** I; > 0; -; Número de líneas en el archivo de datos.
- **INVERT_Z1:** R; > 0; m o ft; Elevación invertida de entrada. Si INVERT_Z1 = -9999, el modelo hace que INVERT_Z1 sea igual a la elevación promedio del lecho de la celda de entrada.
- **INVERT_Z2:** R; > 0; m o ft; Elevación invertida de salida. Si INVERT_Z2 = -9999, el modelo hace que INVERT_Z2 sea igual a la elevación promedio del lecho de la celda de salida.
- **DEPTH:** R; > 0; m o ft; Profundidad del agua.
- **Q:** R; > 0; m³/s o ft³/s; Descarga de agua.

15.4.3 Archivos de datos de características de alcantarilla para CulvertType = 1, 2

Los datos característicos de la alcantarilla tienen la siguiente estructura:

Nb

Ke

nc

Kp

M

Cp

Y

m

Si TipoAlcantarilla=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 alcantarilla

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 alcantarilla de ejemplo indica que la alcantarilla tiene un barril ($N_b = 1$), $K_e = 0,4$, $n_c = 0,012$, $K_p = 1$, $c_p = 1$, $M = 1,1$, $Y = 0,6$, $m = -0,5$ y $D_c = 0,10$, $INVERT_Z1 = 5,0$ e $INVERT_Z2 = 1,0$.

- **Nb:** I; -; -; Número de barriles idénticos. La descarga calculada para una alcantarilla se multiplica por N_b para obtener la descarga 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 Culvert Manning 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 barril para alcantarillas tipo cajón. Solo para CulvertType = 1.
- **Base:** R; > 0; m o ft; Ancho del barril para alcantarillas tipo cajón. 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 invertida de entrada. Si $INVERT_Z1 = -9999$, el modelo hace que $INVERT_Z1$ sea igual a la elevación promedio del lecho de la entrada.
- **INVERT_Z2:** R; > 0; m o ft; Elevación invertida de salida. Si $INVERT_Z2 = -9999$, el modelo hace que $INVERT_Z2$ sea igual a la elevación promedio del lecho de la celda de salida.
- **Juntas buenas, paredes lisas:** 0.012
- **Saliente desde el relleno, extremo de corte recto:** 0.015
- **Juntas deficientes, paredes rugosas:** 0.017
- **Corrugaciones de 2-2/3 pulgadas × 1/2 pulgada:** 0,025

- **Corrugaciones de 6 pulgadas × 1 pulgada:** 0,024
- **Corrugaciones de 5 pulgadas × 1 pulgada:** 0.026
- **Corrugaciones de 3 pulgadas × 1 pulgada:** 0,028
- **Corrugaciones de 6 pulgadas × 2 pulgadas:** 0.034
- **Corrugaciones de 9 pulgadas × 2 1/2 pulgadas:** 0,035
- **Saliente desde el relleno, extremo ranurado:** 0.2
- **Saliente desde el relleno, extremo de corte recto:** 0.5
- Cabecero o testero con ala (sacos de arena de hormigón o cemento)
- **Extremo de tubería ranurado:** 0.2
- **Extremo de tubería de corte recto:** 0.1
- **Extremo de tubería redondeado:** 0.7
- **Sin rejilla:** 0.5
- **Con rejilla:** 0.7
- **Corrugated metal pipe:** Proyectando desde el terraplén (sin cabecera); 0,9
- **Cabecera con o sin muros laterales (sacos de arena de concreto o cemento):** 0.5
- **Extremo en inglete que se ajusta a la pendiente del terraplén:** 0.7
- Sección final fabricada de metal u hormigón que se ajuste a la pendiente del terraplén.
- **Sin rejilla:** 0.5
- **Con rejilla:** 0.7
- Cabecera paralela al terraplén (sin paredes laterales)
- **Borde recto en tres lados:** 0.5
- **Borde redondeado en tres lados con un radio de 1/12 de la dimensión del conducto:** 0.2
- Muros laterales a 30° a 75° respecto del conducto
- **Borde recto en la corona:** 0.4
- **Borde de corona redondeado con un radio de 1/12 de la dimensión del conducto:** 0.2
- Muros laterales a 10° a 30° respecto del conducto
- **Borde recto en la corona:** 0.5
- Muros laterales paralelos al terraplén
- **Borde recto en la corona:** 0.7

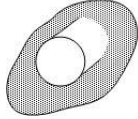
- Circular **Concreto**:: Cabecera; borde cuadrado; 0,3153; 2,0000; 1,2804; 0.6700
- Circular **Concreto**:: Cabecera; borde ranurado; 0,2509; 2,0000; 0,9394; 0,7400
- Circular **Concreto**:: Saliente; borde ranurado; 0,1448; 2,0000; 1,0198; 0.6900
- Circular **Metal corrugado**:: Cabecera; 0,2509; 2,0000; 1,2192; 0.6900
- Circular **Metal corrugado**:: Inglete a pendiente; 0,2112; 1,3300; 1,4895; 0.7500
- Circular **Metal corrugado**:: Saliente; 0,4593; 1,5000; 1,7790; 0.5400
- Circular **Concreto**:: Anillo biselado; biseles de 45°; 0,1379; 2,5000; 0,9651; 0,7400
- Circular **Concreto**:: 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; abocinamiento 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; cabecera; chaflanes de 3/4 de pulgada; 1,6389; 0,6670; 1,2064; 0.7900
- **Concreto**: Rectangular; cabecera; biseles de 45°; 1,5752; 0,6670; 1,0101; 0.8200
- **Concreto**: Rectangular; cabecera; biseles de 33,7°; 1,5466; 0,6670; 0,8107; 0,8650
- **Concreto**: Rectangular; cabecera; oblicuidad de 45°; chaflanes de 3/4 de pulgada; 1,6611; 0,6670; 1,2932; 0.7300
- **Concreto**: Rectangular; cabecera; oblicuidad de 30°; chaflanes de 3/4 de pulgada; 1,6961; 0,6670; 1,3672; 0.7050
- **Concreto**: Rectangular; cabecera; oblicuidad de 15°; chaflanes de 3/4 de pulgada; 1,7343; 0,6670; 1,4493; 0.6800
- **Concreto**: Rectangular; cabecera; oblicuidad de 10-45°; biseles de 45°; 1,5848; 0,6670; 1,0520; 0.7500
- **Concreto**: Rectangular; muros laterales; sin desplazamiento, 45°/abocinamientos; 1,5816; 0,6670; 1,0906; 0.8030
- **Concreto**: Rectangular; muros laterales; sin desplazamiento, 18,4°/abocinamientos; chaflanes de 3/4 de pulgada; 1,5689; 0,6670; 1,1613; 0.8060

- **Concreto:** Rectangular; muros laterales; sin desplazamiento, 18,4°/abocinamientos; oblicuidad de 30°/barril retorcido; 1,5752; 0,6670; 1,2418; 0.7100
- **Concreto:** Rectangular; muros laterales; con desplazamiento, 45°/abocinamientos; borde superior biselado; 1,5816; 0,6670; 0,9715; 0,8350
- **Concreto:** Rectangular; muros laterales; con desplazamiento, 33,7°/abocinamientos; borde superior biselado; 1,5752; 0,6670; 0,8107; 0.8810
- **Concreto:** Rectangular; muros laterales; con desplazamiento, 18,4°/abocinamientos; bisel del borde superior; 1,5689; 0,6670; 0,7303; 0.8870
- **Metal corrugado:** Rectangular; cabecera; 0.2670; 2,0000; 1,2192; 0.6900
- **Metal corrugado:** Rectangular; saliente; pared gruesa; 0,3023; 1,7500; 1,3479; 0.6400
- **Metal corrugado:** Rectangular; saliente; pared delgada; 0,4593; 1,5000; 1,5956; 0.5700
- Circular **Concreto:**; Garganta cónica; 1,3991; 0,5550; 0,6305; 0.8900
- Circular **Metal corrugado:**; Garganta cónica; 1,5760; 0,6400; 0,9297; 0.9000
- **Concreto:** Rectangular; garganta cónica; 1.5116; 0,6670; 0,5758; 0.9700
- Circular **Concreto:**; Cabecera; borde cuadrado; 0,3153; 2,0000; 1,2804; 0.6700
- Circular **Concreto:**; Cabecera; borde ranurado; 0,2509; 2,0000; 0,9394; 0,7400
- Circular **Concreto:**; Saliente; borde ranurado; 0,1448; 2,0000; 1,0198; 0.6900
- Circular **Metal corrugado:**; Cabecera; 0,2509; 2,0000; 1,2192; 0.6900
- Circular **Metal corrugado:**; Inglete a pendiente; 0,2112; 1,3300; 1,4895; 0.7500
- Circular **Metal corrugado:**; Saliente; 0,4593; 1,5000; 1,7790; 0.5400
- Circular **Concreto:**; Anillo biselado; biseles de 45°; 0,1379; 2,5000; 0,9651; 0,7400
- Circular **Concreto:**; Anillo biselado; biseles de 33,7°; 0,1379; 2,5000; 0,7817; 0.8300
- **Concreto:** Rectangular; muros laterales; abocinamientos de 30° a 75°; borde cuadrado; 0,1475; 1,0000; 1,2385; 0.8100
- **Concreto:** Rectangular; muros laterales; abocinamientos de 90° y 15°; borde cuadrado; 0,2242; 0,7500; 1,2868; 0.8000
- **Concreto:** Rectangular; muros laterales; abocinamientos de 0°; borde cuadrado; 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; cabecera; chaflanes de 3/4 de pulgada; 1,6389; 0,6670; 1,2064; 0.7900

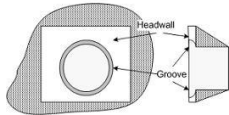
- **Concreto:** Rectangular; cabecera; biseles de 45°; 1,5752; 0,6670; 1,0101; 0.8200

Projecting



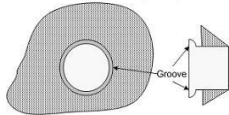
- : El extremo del cañón de la alcantarilla sobresale del terraplén.

Grooved Pipe with Headwalls



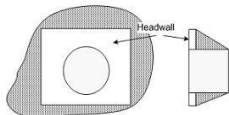
- : Tubería ranurada para alcantarillas de hormigón disminuye las pérdidas de energía por la entrada de la alcantarilla.

Grooved Pipe Projecting



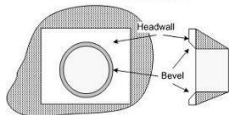
- : Esta opción es para alcantarillas de tubería de concreto.

Square Edge with Headwalls



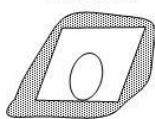
- : El borde cuadrado con el muro cabecera es una condición de entrada donde la entrada de la alcantarilla está al ras con el muro cabecera.

Beveled Edge with Headwalls



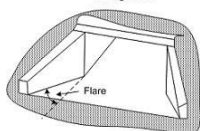
- : 'Bordes biselados' es un borde de entrada cónico que disminuye la pérdida de carga cuando el flujo ingresa al barril de la alcantarilla.

Mitered



- : La entrada en inglete es cuando el barril de la alcantarilla se corta de modo que quede al ras con la pendiente del terraplén.

Wingwalls



- : Los muros laterales se utilizan cuando la alcantarilla es más corta que el terraplén y evita que el material del terraplén caiga dentro de la alcantarilla.

15.4.5 Comentarios para los archivos .CULVERTS y características de alcantarillas

1. El tipo de alcantarilla y su condición de flujo se define mediante el parámetro CulvertType de la siguiente manera:

CulvertType = 0: [000] Descarga calculada por la curva de clasificación (Q vs profundidad de entrada). Sólo se utilizan celdas de entrada y salida para el intercambio de volumen.

CulvertType = 1: [001] Alcantarilla de sección rectangular/caja. Sólo se utilizan celdas de entrada y salida para el intercambio de volumen.

CulvertType = 2: [002] Alcantarilla de sección circular. Sólo se utilizan celdas de entrada y salida para el intercambio de volumen.

CulvertType = 11: [011] Alcantarilla de sección rectangular/caja. Para el intercambio de volumen se utilizan celdas de entrada y salida más celdas vecinas.

CulvertType = 12: [012] Alcantarilla de sección circular. Para el intercambio de volumen se utilizan celdas de entrada y salida más celdas vecinas.

CulvertType = -3: [100] Descarga calculada por la curva de clasificación (Q vs profundidad de entrada). Sólo se utilizan celdas de entrada y salida para el intercambio de volumen. Sólo se permite el flujo de (X1,Y1) a (X2,Y2).

CulvertType = -4: [101] Alcantarilla de sección rectangular/caja. Sólo se utilizan celdas de entrada y salida para el intercambio de volumen. Sólo se permite el flujo de (X1,Y1) a (X2,Y2).

CulvertType = -5: [102] Alcantarilla de sección circular. Sólo se utilizan celdas de entrada y salida para el intercambio de volumen. Sólo se permite el flujo de (X1,Y1) a (X2,Y2).

CulvertType = -14: [111] Alcantarilla de sección rectangular/caja. Para el intercambio de volumen se utilizan celdas de entrada y salida más celdas vecinas. Sólo se permite el flujo de (X1,Y1) a (X2,Y2).

CulvertType = -15: [112] Alcantarilla de sección circular. Para el intercambio de volumen se utilizan celdas de entrada y salida más celdas vecinas. Sólo se permite el flujo de (X1,Y1) a (X2,Y2).

2. Para CulvertType 0, la descarga de la alcantarilla se calcula utilizando una tabla de clasificación dada en el archivo CulvertFile.
3. Para los tipos de alcantarilla 1, 2, 11, 12, -4, -5, -14 y -15, el modelo calculará la descarga de la alcantarilla para el control de entrada y salida utilizando los procedimientos FHWA (Norman et al., 1985) que luego fueron reexpresados 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 QGIS. El archivo tiene el siguiente formato:

Línea 1: Número de versión del archivo de rotura de presa.

DBFVERSION

Línea 2: Número de represas.

NUMBEROFDAMS

Luego para cada presa sigue NUMBEROFDAMS grupo de líneas con los siguientes datos:

Nombre de la presa.

DAM_ID

Modo de falla.

DAM_FAILMODE

Coordenadas del centro de rotura de la presa.

X0 Y0

Parámetros de definición de rotura de presa

**ZC Angle CD t_initial zb0 d50 tau_c k_sm k_d Gs Porosity C damCrestWidth
UpstreamSlope DownstreamSlope**

Expediente de rotura de presa

DAMBREACHFILE

Número de pares de células a lo largo de la alineación de la presa.

NC

NC líneas que contienen pares de números de celda 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
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. 202208.
- **NUMBEROFDAMS:** I; > 0; –; Número de presas.

- **DAM_ID:** S; < 26; –; Identificación de la presa.
- **DAM_FAILMODE:** I; –; 1, 2, 3; Modo de falla:
- Fallo prescrito.
- Desbordamiento de la erosión.
- Erosión de Tuberías.
- **X0, Y0:** R; –; [m o ft]; Coordenadas del centro de rotura de presa. El modelo calcula estas coordenadas utilizando la distancia desde uno de los puntos finales de la polilínea de la presa indicados en los cuadros de diálogo QGIS y DIP.
- **ZC:** R; –; [m o ft]; Elevación inicial de la cresta de la presa.
- **Angle:** R; [5, 90]; –; Ángulo de la pendiente lateral con respecto a la horizontal.
- **CD:** R; –; –; Coeficiente de descarga de rotura adimensional.
- **T_initial:** R; –; h.; Hora de inicio de la brecha.
- **Zb0:** R; –; [m o ft]; Elevación inicial del fondo de la brecha.
- **D50:** R; –; [m o ft]; Diámetro medio del material de presa.
- **Tau_c:** R; –; [Pa o lb/in²]; Esfuerzo cortante crítico.
- **K_sm:** R; –; –; Corrección por sumersión debida a los efectos aguas abajo.
- **Kd:** R; –; [m³/(N s) o ft²s/lb]; Coeficiente de erosión.
- **Gs:** R; –; –; Gravedad específica del material de la presa.
- **Porosity:** R; (0,1); –; Porosidad del material de presa dada en fracciones de 1, p.e. 0.4.
- **C:** R; –; [Pa o lb/in²]; Cohesión del material de la presa.
- **DamCrestWidth:** R; –; [m o ft]; Ancho de cresta 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 solo para el modo de falla prescrito (1), pero siempre se debe proporcionar un texto ficticio para los modos de falla 2 y 3. El archivo contiene la serie temporal del ancho y la altura de la abertura de la brecha. El nombre del archivo no debe contener espacios en blanco. Consulte los detalles en las secciones correspondientes.
- **NC:** I; > 0; –; Número de pares de células a lo largo de la alineación de la presa.
- **CELL_A(i) CELL_B(i):** I; –; –; Par de células a lo largo de la alineación de la presa.

15.5.2 Archivo de datos de evolución del tiempo de incumplimiento para el modo de falla prescrito

Para el modelo de fallo prescrito 1, el fichero de evolución temporal de la brecha es necesario para definir el ancho y alto de la abertura de la brecha para cada momento. El formato se describe a continuación:

Línea 1: Número de veces.

NT

Líneas NT 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 del tiempo de incumplimiento (solo modo de falla prescrito)

```
3
0 1 1
0.25    20    25
1       20    25
```

15.5.3 Comentarios para el archivo .DAMBREACH

Estos son los parámetros de definición de infracción necesarios para cada modo de falla:

- **Prescribed:** ZC, Ángulo y CD.
- **Overtopping erosion:** ZC, Ángulo, CD, t_initial, zb0, d50, tau_c, k_sm, k_d.
- **Piping erosion:** ZC, Ángulo, CD, t_initial, zb0, d50, tau_c, k_sm, k_d, Gs, Porosidad, C, damCrestWidth, UpstreamSlope, DownstreamSlope.

Tenga en cuenta que en la línea que contiene *Dam breach definition parameters* en el archivo siempre hay 15 valores, incluso cuando no todos se usan para los modos Prescrito y Overtopping.

15.6 Archivos de datos GATES: .GATES

Este componente requiere el archivo de datos que genera internamente el modelo en función de la representación geométrica ingresada en el complemento HydroBID Flood QGIS. El archivo tiene el siguiente formato:

Línea 1: Número de puertas.

NUMBEROFGATES

NUMBEROFGATES líneas que contienen los datos de cada puerta.

Gate Id

GATES_ID

Altura de elevación de cresta Cd

CRESTELEV GATEHEIGHT Cd

Serie temporal de apertura de puerta

GATE_APERTURES_FILE

Número de pares de células a lo largo de la alineación de las puertas

NC

Líneas NUMBEROFCELLS que contienen pares de números de celdas a lo largo de la alineación de la puerta

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 de descarga adimensional.
- **CRESTELEV:** R; > 0; -; Elevación de la cresta de la puerta.
- **GATE_APERTURES_FILE:** S; < 26; -; Serie temporal de apertura de puerta.
- **GATEHEIGHT:** R; > 0; -; Altura de la puerta.
- **GATE_ID:** S; < 26; -; Identificación de puerta.
- **CELL_A(i) CELL B(i):** I; -; -; Números de células de pares de células a lo largo de la alineación de la puerta.

- **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 puerta.

15.6.2 Archivo de serie temporal de apertura de puerta

Línea 1: Número de puntos en la serie temporal de datos de apertura de puerta.

NPOINTS

Líneas NPOINTS que contienen:

Tiempo y apertura.

TIME H(I)

15.6.3 Ejemplo de un archivo de datos de apertura de Gates

```
3
0 0.0
2 0.5
4 1.0
```

- **NPOINTS:** I; > 1; -; Número de puntos de datos en la serie temporal de apertura de la puerta.
- **TIME:** R; > 0; h.; Tiempo.
- **H(I):** R; -; m o ft; Apertura de compuerta para el tiempo correspondiente.

15.7 Archivo de datos de la tabla de calificación interna: .IRT

Este archivo de datos permite modelar estructuras hidráulicas complejas dentro del dominio de modelado. El usuario ingresa polilíneas coincidentes con nodos de la malla y les asigna una tabla de clasificación de descarga frente a elevación de la superficie del agua. En otras palabras, las polilíneas IRT deben conectar nodos de la malla de celdas triangulares. Para cada paso de tiempo, el modelo calculará la descarga que cruza la polilínea y encontrará por interpolación la elevación correspondiente de la superficie del agua a partir de la tabla de clasificación proporcionada. Luego, el modelo impondrá esa elevación de la superficie del agua a todos los nodos a lo largo de la polilínea. Las velocidades se calcularán utilizando las ecuaciones 2D estándar. Por lo tanto, en las polilíneas de la tabla de clasificación interna, las velocidades calculadas no necesariamente serán perpendiculares a la polilínea IRT.

La estructura del archivo es la siguiente:

Línea 1: Número de polilíneas de la tabla de clasificación interna.

IRT_NPL

Grupos de líneas IRT_NPL que contienen el ID de polilínea IRT, el número de vértices que definen cada polilínea, el tipo de condición de límite IRT (siempre igual a 19 en esta versión), el nombre del archivo de la tabla de clasificación, seguido de la lista de vértices de coordenadas de polilínea como se muestra:


```

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 la tabla de calificación interna, 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; ≥ 2 ; -; Número de puntos que definen cada polilínea IRT.
- **IRT_ID:** S; < 26; -; Nombre del TRI. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **IRT_BCTYPE:** I; 19; -; La condición de límite siempre es igual a 19 en esta versión, correspondiente a las tablas de elevación de la superficie del agua frente a descarga. Las versiones futuras incluirán más opciones.
- **X_IRT Y_IRT:** R; -; m o ft; Coordenadas de vértice que definen cada polilínea IRT. Ver comentario 1.
- **IRT_FILENAME:** S; < 26; -; Nombre del archivo que contiene la tabla de clasificación interna en el formato descrito como archivo de datos de descarga por etapas. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.

15.7.2 Comentarios para el archivo .IRT

1. Las polilíneas IRT deben definirse evitando cambios de dirección abruptos (por ejemplo, giros de 90 grados). Las alineaciones de polilíneas como tales pueden crear errores en el algoritmo del modelo que identifica los nodos que se encuentran sobre la polilínea. Por tanto, se recomienda que el IRT siga un camino más o menos fluido.

15.8 Archivo de datos de lluvia y evaporación: .LRAIN

Utilice este archivo para ingresar datos de lluvia y evaporación distribuidos espacialmente y variables en el tiempo. El modelo supone que la lluvia y la evaporación pueden variar en el área de modelado.

Línea 1: Número de polígonos donde se definen series temporales de precipitaciones.

NP

Grupo de líneas NP que contiene hietograma y archivo de datos de evaporación para cada zona

RAINEVFILE(i)

Número de vértices del polígono i

NPZONE(i)

Lista de coordenadas de vértice 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 lluvia y evaporación para el primer 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; ≤ 26 ; -; Intensidad de las precipitaciones. Ver comentario 1.
- **X(i) Y(i):** R; > 0 ; m o ft; Coordenadas de vértice del polígono i.

15.8.1 Comentarios para el archivo .LRAIN

1. La distribución espacial de la lluvia y la evaporación se da como un número de polígonos no superpuestos que cubrirían o no el área de la malla. Las zonas no cubiertas por ningún polígono no tendrían lluvia ni evaporación impuestas sobre la malla.

15.8.1.1 Archivo de datos de hietograma y evaporación.

Línea 1: Número de puntos en series temporales de lluvia y evaporación.

NPRE

Líneas NPRE que contienen:

Hora Intensidad de lluvia, Intensidad de evaporación.

TIME RAININT EVAPINT

15.8.2 Ejemplo de un archivo de datos de hietograma y evaporación

```
8
0.0 0.0 0.01
1.0 1.0 0.02
3.0 4.0 0.02
6.0 12.0 0.00
6.2 7.0 0.00
7.0 3.0 0.0
7.1 0.0 0.0
9.0 0.0 0.0
```

- **EVAPINT:** R; ≥ 0 ; mm/h o in/h; Intensidad de la evaporación. Ver comentario 1.
- **NPRE:** I; -; -; Número de veces en las series temporales de lluvia y evaporación.
- **RAININT:** R; ≥ 0 ; mm/h o in/h; Intensidad de las precipitaciones. Ver comentario 1.
- **TIME:** R; > 0 ; hours; Intervalo de tiempo

15.8.3 Comentarios para el archivo de datos de hietograma y evaporación.

1. Para calcular la lluvia/evaporación sobre la malla, el modelo utilizará intensidades de lluvia y evaporación dadas para cada intervalo de tiempo. Por ejemplo, en el ejemplo anterior, para todos los tiempos entre 1 y 3 horas, la intensidad de la lluvia será igual a 1 mm/h y la intensidad de la evaporación será igual a 0,02 mm/h. Para tiempos entre 3 y 6 horas la intensidad de lluvia será igual a 1 mm/h y la intensidad de evaporación igual a 0,02 mm/h, y así sucesivamente para el resto de tiempos.
2. Si el usuario tiene un archivo en la carpeta del proyecto, el programa aplicará los datos contenidos en ese archivo a todas las celdas cuyo centroide quede fuera de los polígonos dados en la capa *RainEvap* y no esté cubierto por ningún otro polígono.

15.9 Archivo de datos de infiltración: .LINF

Utilice este archivo para ingresar parámetros de infiltración distribuidos espacialmente.

Línea 1: Número de zonas definidas por polígonos donde se definen parámetros de infiltración.

NIZONES

NIZONES grupo 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 vértice 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.

- **&:** y 7
- **NPZONE(i):** I; ≥ 1 ; -; Número de vértices que definen la zona i.
- **NIZONES:** I; -; -; Número de zonas. Ver comentarios 1 y 2.
- **INFILFILE:** S; ≤ 26 ; -; Archivo de parámetros de infiltración.
- **X(i) Y(i):** R; > 0 ; m o ft; Coordenadas del vértice del polígono que define la Zona i.

15.9.2 Comentarios para el archivo .LINF

1. La distribución espacial de los parámetros de infiltración se da como un número de polígonos no superpuestos que cubrirían o no el área de la malla. En las zonas no cubiertas por ningún polígono no se calcularía la pérdida de infiltración.
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 ese archivo al área complementaria a 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 entonces:

Línea 3: **K** **f_c** **f₀**

Si INFILMODEL = 2: Método Green y Ampt entonces:

Línea 3: **KH** **PSI** **DELTATHETA**

Si INFILMODEL = 3: método SCS-CN entonces:

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 de la siguiente manera: $K = 8.3E-04$, $f_c = 3.47E-06$ y $f_0 = 2.22E-5$.

- **AMC:** I; > 0; 1, 2, 3; Contenido de humedad antecedente (AMC). Representa la humedad relativa anterior 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. Consulte los posibles valores de AMC en la tabla correspondiente.
- **CN:** R; > 0; -; Número de curva. Véase USDA (1986) para determinar valores adecuados dependiendo de la cobertura del suelo. Los valores típicos oscilan entre 10 para suelos altamente permeables y 99 para cubiertas impermeables pavimentadas.
- **DELTATHETA:** R; > 0; -; Diferencia entre contenido de humedad volumétrico saturado e inicial. Valor predeterminado = $3E-5$.
- **f_c:** R; [0,5E-4]; m/s o ft/s; Tasa de infiltración final. Predeterminado = $2E-5$.
- **f₀:** R; [0,5E-4]; m/s o ft/s; Tasa de infiltración inicial. Predeterminado = $7E-5$.
- **INFILMODEL:** I; 1,2,3; -; Método de infiltración. 1: Horton, 2: Verde y Ampt, 3: SCS-CN.
- **K:** I; [0,30]; 1/s; Coeficiente de decaimiento utilizado en el método de Horton. Predeterminado = 1.
- **Kh:** I; ≥ 0; m/s o ft/s; Conductividad hidráulica utilizada en el método Green-Ampt. Predeterminado = 0,00001.
- **NIPARAM:** I; 3; -; Número de parámetros de datos según el modelo de infiltración seleccionado. Debe configurarse de la siguiente manera: 3 para Horton de Green y Ampt, y para los métodos SCS-CN.
- **POTRETCONST:** R; [0-1]; -; Constante de retención máxima potencial. Normalmente = 0,2.
- **PSI:** R; [0-1]; m o in; Cabezal de succión del frente de humectación del suelo. Predeterminado = 0,05.

).

- **Less than 13 mm:** Menos de 36 mm
- **2:** 13 mm a 28 mm; 36 mm a 53 mm
- **3:** Más de 28 mm; Más de 53mm

15.10 Variable n de Manning con datos de profundidad

Archivo: .MANNN

Este archivo es creado por el complemento HydroBID Flood QGIS en función de los datos que ingresa en la capa *ManningsNz*. Se utiliza para la variable n de Manning distribuida espacialmente con datos de profundidad.

Línea 1: Número de zonas definidas por polígonos donde se definen la variable n de Manning con profundidades.

NNZONES

NRZONES grupo de líneas que contienen la variable n de Manning con un archivo de datos de profundidad para cada zona **MANNFILE**

Número de vértices del polígono i

NPZONE(i)

Lista de coordenadas de vértice 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 n de Manning para el 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; ≤ 26 ; -; Archivo n de Manning. Ver comentario 1.
- **X(i) Y(i):** R; > 0 ; m o ft; Coordenadas del vértice 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 profundidad se da como un número de polígonos que cubren el área de la malla. Los bordes de los polígonos pueden tocarse o dejar un pequeño espacio; el modelo asigna los datos n de Manning a una celda según el polígono que contiene el centroide de la celda, por lo que no se requiere una coincidencia exacta de límites. A las zonas no cubiertas por ningún polígono (área complementaria) se les asignan datos del archivo DefaultManningsn.DAT (ver más abajo).
2. Cuando el archivo .MANNN está en uso (IMANN=2 en el archivo de control de ejecución .DAT), los valores definidos en la capa Manning N normal (el archivo .MannN2) se ignoran. No es necesario eliminar la capa Manning N del proyecto.

15.10.1.1 Variable n de Manning con archivo de datos de profundidad

Línea 1: Número de puntos en el archivo n de Manning.

NP

Líneas NP que contienen:

DEPTH(i) MANNINGS_N(i)

15.10.2 Ejemplo de una variable de Manning con un archivo de datos de profundidad

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

- **DEPTH(i):** $R; \geq 0$; m o ft; Profundidad de flujo. Ver comentario 1.
- **MANNINGS_N(i):** $R; \geq 0$; -; n de Manning correspondiente a PROFUNDIDAD(i). Ver comentario 1.
- **NP:** I; -; -; Valores numéricos en el archivo.

15.10.3 Comentarios para la variable n de Manning con archivo de datos de profundidad

1. Para calcular la n de Manning sobre la malla, el modelo primero identificará el polígono sobre cada celda y luego utilizará el valor n interpolado para la profundidad de la celda 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 deberá proporcionar un archivo DefaultManningsn.DAT en la carpeta del proyecto y el programa aplicará los datos contenidos en ese archivo al área complementaria a los polígonos proporcionados. Si DefaultManningsn.DAT no existe, el modelo aplicará un valor predeterminado de 0,035 a las áreas no cubiertas por los n polígonos de Manning.

15.10.3.1 Archivo de datos n de Manning predeterminado:

`DefaultManningsn.DAT`

Cuando el archivo `.MANNN` no cubre toda la malla, al área complementaria se le asignan datos de un archivo `DefaultManningsn.DAT` colocado 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 de archivo es idéntico a la variable n interna de Manning con el archivo de datos de 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 pilares de puente:

`.PIERS`

Esta opción requiere el archivo de datos generado internamente por el modelo en función de la representación geométrica ingresada en el complemento HydroBID Flood QGIS. El archivo de datos tiene el siguiente formato:

Línea 1: Número de pilares.

NUMBEROFPIERS

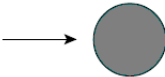
NUMBEROFPIERS líneas que contienen los datos de cada pilar.

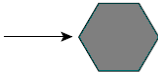
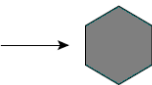
X Y ANGLEX LENGTH WIDTH CD PIERID

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; Deg.; Ángulo del pilar con respecto al eje X. Ver comentario 1.
- **C_D :** R; 0.5 – 2.5; -; Coeficiente de resistencia adimensional del pilar. Ver comentario 2.
- **LENGTH:** R; -; m o ft; Longitud del pilar.
- **PIERID:** S; < 26; -; Nombre del pilar. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **WIDTH:** R; -; m o ft; Ancho del pilar.
- **X:** R; -; m o ft; Coordenada X del centroide del pilar.
- **Y:** R; -; m o ft; Coordenada Y del centroide del pilar.

- 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. Ángulo ANGLEX se aplica únicamente a pilares de planta rectangular. Por ejemplo ANGLEX = 90 corresponde a un pilar 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 resistencia del pilar, ρ es la densidad del agua, U es la velocidad del agua y A_P es el área mojada del pilar proyectada normal a la dirección del flujo.

Para tener en cuenta la fuerza de arrastre que el pilar ejerce sobre el flujo, HydroBID Flood la convierte en esfuerzo cortante distribuido en la celda donde se encuentra la coordenada centroide del pilar. Las expresiones resultantes del esfuerzo cortante del pilote 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 pilar y socavación del puente: .SCOUR

Este archivo almacena los datos necesarios para calcular la socavación alrededor de pilares y estribos de puentes.

Línea 1: Número de pilas y estribos.

NP

NP grupos de líneas que contienen los siguientes datos:

Imode

PierID

Icomp

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 del pilar
- **Icomp:** I; (1, 2, 3, 4); & Método computacional
- **XA, YA:** R; -; -; Coordenadas del pilar
- **Y1:** R; > 0; m o ft; Profundidad del flujo directamente aguas arriba del pilar
- **V1:** R; > 0; m/s o ft/s; Velocidad aguas arriba del pilar

- **Alfa:** R; [0, 180]; grados; Ángulo de ataque
- **alfaRAD:** R; [0, Pi]; radianes; Ángulo de ataque
- **ishape:** I; &; Forma del pilar
- **L:** R; > 0; m o ft; Longitud del pilar
- **a:** R; > 0; m o ft; Ancho del pilar
- **iBedCondition:** I; &; Condición del lecho
- **D50:** R; > 0; m o ft; D50
- **D84:** R; > 0; m o ft; D84
- **Sediment Specific Density:** R; (0,3); -; Densidad específica del sedimento, S_s
- **Water Specific Density:** R; (0,1.2); -; Densidad específica del agua, S_w
- **K1:** R; &; Factor de corrección para la forma de la punta del pilar.
- **K2:** R; &; Factor de corrección para el ángulo de ataque del flujo.
- **K3:** R; &; Factor de corrección por condición de lecho.
- **K:** R; (0,3); (0,3); Ancho inferior relativo a Y_s .
- **theta:** R; 20-48°; grados; Ángulo de reposo del material del lecho
- **ys:** R; ≥ 0 ; m o ft; Profundidad de socavación
- **W:** R; ≥ 0 ; m o ft; Ancho superior del foso de socavación
- **Wbottom:** R; ≥ 0 ; m o ft; Ancho inferior del foso de socavación
- **Fr1:** R; > 0; & Número de Froude aguas arriba del pilar
- **FrD:** R; > 0; & Número de Froude de partículas densimétricas
- **SIGMA:** R; > 0; & Coeficiente de gradación de sedimentos
- **Vc:** R; > 0; m/s o ft/s; Velocidad crítica para el inicio de la erosión del material.
- **iAbutmentType:** I; [1-2]; -; Tipo de pilar
- **AlfaA:** R; [1-2]; -; Factor de amplificación para condiciones de lecho vivo.
- **AlfaB:** R; [1-2]; -; Factor de amplificación para condiciones de agua clara.
- **YmaxLB:** R; ≥ 0 ; m o ft; Profundidad máxima del flujo después de la socavación para condiciones de lecho vivo
- **YmaxCW:** R; ≥ 0 ; m o ft; Profundidad máxima del flujo después de la socavación para condiciones de agua clara
- **YcLB:** R; ≥ 0 ; m o ft; Profundidad que incluye la socavación por contracción del lecho vivo
- **YsA:** R; &; Profundidad de socavación del pilar
- **YcCW1:** R; ≥ 0 ; m o ft; Profundidad que incluye la socavación por contracción en agua clara.
Método 1
- **YcCW2:** R; ≥ 0 ; m o ft; Profundidad que incluye la socavación por contracción en agua clara.
Método 2
- **q1:** R; ≥ 0 ; m²/s o ft²/s; Descarga unitaria aguas arriba
- **q2c:** R; ≥ 0 ; m²/s o ft²/s; Descarga unitaria aguas arriba de la abertura constreñida
- **n Manning:** R; ≥ 0.01 ; -; n de Manning
- **TauC:** R; ≥ 0 ; Pa o lb/ft²; Esfuerzo cortante crítico
- **GammaW:** R; ≥ 0 ; N/m³ o lb/ft³; Peso unitario del agua
- **BridgeXSEC_X1, BridgeXSEC_Y1, BridgeXSEC_X2, BridgeXSEC_Y2:** R; -; m o ft; Coordenadas del punto extremo de la sección transversal del puente
- **UpstreamXSEC_X1, UpstreamXSEC_Y1, UpstreamXSEC_X2, UpstreamXSEC_Y2:** R; -; m o ft; Coordenadas del punto extremo 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 de archivo es el mismo que el archivo *one variable boundary condition* descrito en la sección correspondiente.
2. Para modelar las entradas utilice valores de descarga positivos y para modelar las salidas utilice valores negativos.

15.12 Archivo de datos de fuentes y sumideros: .SOURCES

Utilice este archivo para ingresar datos para simular entradas o salidas puntuales en cualquier ubicación. Esta característica se utiliza normalmente al modelar entradas (salidas) o entradas puntuales. El usuario podrá 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 de origen/sumidero, el nombre del archivo que contiene la serie de tiempo de descarga o la tabla de clasificación y las coordenadas del punto de la siguiente manera:

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. El primero se llama DrainA, está ubicado en las coordenadas X = 799019.633 e Y = 309402.572 y es SOURCETYPE 2, lo que indica que el archivo de datos contiene una tabla de clasificación de profundidad frente a descarga para el drenaje. La segunda fuente es DischargeIN y es de tipo 1, para el que se proporciona un hidrograma (tiempo frente a descarga).

- **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. Ver comentarios 1 y 2.
- **SOURCEID:** S; < 26; -; Nombre de la fuente puntual o sumidero. Debe tener menos de 26 caracteres y no debe contener espacios en blanco.
- **SOURCETYPE:** I; 1, 2; -; Tipo de datos para el origen o el sumidero. Si es igual a 1, el archivo debe contener un hidrograma. Si es igual a 2, contiene una tabla de clasificación con profundidades frente a valores de descarga.
- **X_S Y_S:** R; -; m o ft; Coordenadas de 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 de archivo es el mismo que el archivo *one variable boundary condition* descrito en la Sección.
2. Para modelar las entradas utilice valores de descarga positivos y para modelar las salidas utilice valores negativos.

15.13 Archivo de múltiples fuentes

Este archivo ayuda a facilitar la entrada de muchas fuentes de afluencia y normalmente se utiliza al simular múltiples derrames de una tubería. El archivo se puede leer en QGIS usando *Import Multi-sources file* en el menú Herramientas de inundación de HydroBID. Puede preparar el archivo en cualquier editor de texto usando el siguiente formato.

Línea 1: Número de fuentes.

NSOURCEP

Líneas NSOURCEP que contienen el texto de identificación del punto de origen/sumidero, las coordenadas del punto X, Y y el nombre del archivo que contiene la serie de tiempo de descarga o la tabla de clasificación para cada punto de la siguiente manera:

SOURCEID X_S(I) Y_S(I) ISFILENAME

...

15.13.1 Ejemplo de un archivo fuente múltiple

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. El primero se llama Fuente1 ubicado en las coordenadas: $X = 6232789.844$ e $Y = 1941100.871$ y es el archivo de datos correspondiente que contiene la serie de tiempo de descarga de la fuente.

- **NSOURCESP:** I; > 0; -; Número de puntos fuente o sumidero.
- **ISFILENAME:** S; -; -; Nombre del archivo que contiene las series temporales de cada fuente. No debe contener espacios en blanco.
- **SOURCEID:** S; < 26; -; Nombre de la fuente puntual o sumidero. No debe contener espacios en blanco.
- **X_S Y_S:** R; -; m o ft; Coordenadas de fuente/sumidero.

Una vez que haya generado el archivo, puede usar la herramienta *Import Multi-sources file* para completar la capa *Sources*:

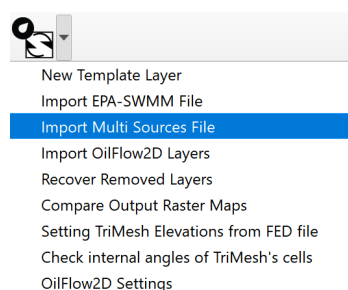


Figura 15.3 – Lectura del archivo de múltiples fuentes.

Luego, en el cuadro de diálogo Fuentes múltiples, ingrese el nombre del archivo y seleccione crear una nueva capa *Sources* o agregar las fuentes a una capa *Sources* existente.

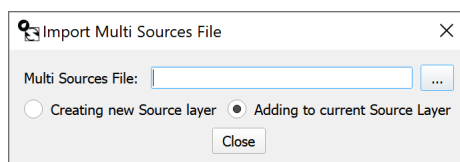


Figura 15.4 – Diálogo de múltiples fuentes.

15.14 Archivos de datos de Weirs: .WEIRS y .WEIRP

Estos archivos de datos permiten utilizar cálculos de vertederos a lo largo de polilíneas definidas por el usuario que representan el desbordamiento de carreteras o vertederos. El usuario selecciona el coeficiente de vertedero asociado con cada vertedero y el modelo determinará los nodos en cada polilínea y la descarga a través de cada par de nodos basándose en las fórmulas y métodos de vertedero descritos en *Hydraulics of Bridge Waterways FHWA, 1978* (ver 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 grupo de líneas que incluye el ID del vertedero, el número de vértices que definen cada polilínea del vertedero, el coeficiente del vertedero seguido de las coordenadas de cada vértice

como se muestra:

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 presas. 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 lo genera el modelo basado en el archivo y tiene una estructura similar. Se diferencian en que, en lugar de la lista de vértices, tiene la lista de pares de celdas triangulares a cada lado del vertedero.

Línea 1: Número de polilíneas de vertedero.

NWEIRS

NWEIRS grupo de líneas que incluye el ID del vertedero, el número de vértices que definen cada polilínea del vertedero, el coeficiente del vertedero seguido de las coordenadas de cada vértice como se muestra:

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 del vertedero adimensional. Ver 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.
- **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.

- **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. Ver 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 según 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 altura 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 verifica si hay sumersión; cuando esta se produce, C_d se corrige de acuerdo con el factor de corrección definido por (FHWA, 2001).

2. Las polilíneas de vertedero deben definirse evitando cambios abruptos de dirección (por ejemplo, $\geq$ giros de 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

Utilice este archivo para ingresar datos de velocidad del viento distribuidos espacialmente y que varían en el tiempo. El modelo supone que la velocidad del viento puede variar en el área de modelado. 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

NWZONES grupo de líneas que contienen hietograma y archivo de datos de evaporación para cada zona.

WINDFILE

Número de vértices del polígono i.

NPZONE(i)

Lista de coordenadas de vértice 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/m³. El archivo de velocidad del viento para el primer polígono es y el polígono está definido por cuatro vértices.

- **AIRDENSITY:** R; ≥ 0 ; -; Densidad del aire. Siempre dado en unidades métricas. Predeterminado = 1,225.
- **CD:** R; ≥ 0 ; -; Coeficiente de tensión del viento. Siempre dado en unidades métricas. Predeterminado = 0,001. Consulte los comentarios para obtener orientación para calcular CD.
- **NPZONE(i):** I; ≥ 1 ; -; Número de vértices que definen la zona i.
- **NWZONES:** I; -; -; Número de zonas.
- **WINDFILE:** S; ≤ 26 ; -; Archivo de serie temporal del vector de velocidad del viento. Ver comentario 1.
- **X(I) Y(I):** R; > 0 ; m o ft; Coordenadas del vértice del polígono que define la Zona i.

15.15.2 Comentarios para el archivo

1. La distribución espacial del viento se da como un número de polígonos no superpuestos que cubrirían o no el área de la malla. Las zonas no cubiertas por ningún polígono se considerarán sin tensión de 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 a los polígonos proporcionados.
3. Garrat (1971) propuso la siguiente fórmula 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 en series temporales de datos de velocidad del viento.

NPOINTS

Líneas NPOINTS que contienen:

Tiempo Componente de la velocidad del viento en las direcciones X e Y.

TIME UX UY

15.15.4 Ejemplo de un archivo de datos y velocidad 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 en 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 para implementar barreras de contención de petróleo en el modelo OilFlow2D.

Se representan ingresando polilíneas en la capa *SpillBooms*. El usuario puede seleccionar el tipo de pluma y la altura del faldón.

Línea 1: Número de polilíneas del auge.

NBOOMS

Grupo de líneas NBOOMS que incluye el ID del vertedero, el número de vértices que definen cada polilínea de brazo, el tipo de brazo, la altura del faldón y la pérdida de fracción, 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

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 brazos. El primero se llama BOOM_1, es Tipo 1) y está definido por una polilínea con 4 vértices.

- **BOOM_TYPE:** I; [1, 4] PREDETERMINADO 1; -; Tipo de pluma definido de la siguiente manera:
- Cortina
- Barrera
- Absorbente
- Barrera de burbujas
- **TRAPPING_FRACTION:** R; > 0 PREDETERMINADO 0.0; -; Fracción de petróleo retenida por la barrera con respecto al petróleo captado.
- **NBOOMS:** I; > 0; -; Número de polilíneas de pluma.
- **NV:** I; ≥ 2; -; Número de puntos que definen cada polilínea de auge.
- **BOOM_ID:** S; < 26; -; El nombre de Boom. Debe tener menos de 26 caracteres y no debe contener espacios en blanco.
- **SKIRT_HEIGHT:** R; - PREDETERMINADO 0 & *m* o *ft*; *m* o *ft*; Altura del faldón de la barrera
- **TUG_VEL_U& R:** - PREDETERMINADO 0; *m/s* o *ft/s*; Componente de velocidad de tirón en la dirección x.
- **TUG_VEL_V& R:** - PREDETERMINADO 0; *m/s* o *ft/s*; Componente de velocidad de tirón 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 HydroBID Flood.

Línea 1: Relación de resistencia al flujo.

MF_FRR

Línea 2: Estrés de rendimiento.

MF_YS

Línea 3: viscosidad 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 Constante (0), Propiedades variables (1), Propiedades variables con evolución de fracción de lecho (2)

MF_COV

Línea 11: Parámetros para el cálculo dinámico de viscosidad y límite elástico

MF_ALFAV MF_BETAV MF_ALFAYS MS_BETAYS

Línea 12: Viscosidad constante o variable y límite elástico.

MF_VISCVAR MF_YSVAR

Línea 13: Número de clases/fracciones de sedimento.

MF_NFRAC

Línea 14: Fórmula de concentración de equilibrio.

ISSTF

Línea 15: Densidad de sedimento para cada clase/fracción de sedimento.

SSDEN(1) ... SSDEN (MF_NFRAC)

Línea 16: Concentración inicial de sedimento para cada clase/fracción de sedimento en el lecho.

INICON(1) ... INICON (MF_NFRAC)

Línea 17: Tamaño del diámetro del sedimento para cada fracción.

DIAMETER(1) ... DIAMETER (MF_NFRAC)

Línea 18: Porosidad para cada fracción.

SSPOR(1) ... SSPOR(NSSNFRAC)

Línea 19: Esfuerzo de escudo crítico 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 fórmula de concentración de equilibrio para cada clase/fracción de sedimento.

SSTFACT(1) ... SSTFRACT(MF_NFRAC)

Línea 22: Fórmula de velocidad de asentamiento.

SETFOR

Línea 23: Factores de 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 poro y densidad de referencia.

MF_POREFACT MF_REFDENS

Línea 26: Parámetros para la fórmula de fricción Herschel - Bulkley - Viscoplastica Coulomb.

MF_HBM MF_HBMUP

Línea 27: Nombre del archivo de la tabla de concentración volumétrica frente a viscosidad.

MF_CVSVISCFIL

Línea 28: Nombre del archivo de la tabla de concentración volumétrica frente a límite elástico.

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 sumar 1.
- **DIAMETER:** R; > 0; m o in; Tamaño del sedimento.
- **DUMMY1, DUMMY2:** R; > 0; -; No se utiliza en esta versión, pero debe estar presente.
- **FRICANG:** R; 5-45; -; Ángulo de fricción. Ver comentario 1.
- **MF_ALFAV:** R; > 0; Pa.s; Alfa en fórmula exponencial para viscosidad en Pa.s independientemente de si el proyecto general utiliza unidades inglesas o métricas. Ver comentario 2.
- **MF_ALFAYS:** R; > 0; Pa; Alfa en fórmula exponencial para el límite elástico en Pa, independientemente de si el proyecto general utiliza unidades inglesas o métricas. Ver comentario 2.
- **MF_BETAV:** R; > 0; -& Beta en fórmula exponencial de viscosidad.
- **MS_BETAYS:** R; > 0; -; Alfa en fórmula exponencial para el límite elástico.
- **MF_BVIS:** I; > 0; Poise o lb/in²; 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 en volumen.
- **MF_DENS:** R; > 0; kg/m³ o lb/ft³; Densidad del material.
- **MF_FRR:** I; 1-9; -; Relación de resistencia al flujo (véase la tabla correspondiente).
- **MF_HBM:** R; [0.2,3]; -; Índice de comportamiento adimensional de Herschel-Bulkley - Fórmula de fricción viscoplástica de Coulomb "m" (véase la tabla correspondiente). Los valores típicos están entre 0,2 y 3. Se aplica solo cuando MF_FRR = 9.
- **MF_HBMUP:** R; [0.001,10] Pa/s^m; Pa/s^m o lb/(ft²s^m); Factor de consistencia para la fórmula de fricción viscoplástica de Coulomb de Herschel-Bulkley (véase la tabla correspondiente). Los valores típicos están entre 0,001 y 10 Pa/s^m. Se aplica solo cuando MF_FRR = 9.
- **MF_NFRAC:** I; 1-10; -; Número de fracciones de sedimento.

- **MF_POREFACT:** R; [1, 1.8]; -; Es el coeficiente γ_{pp} para estimar el exceso de presión de poro sobre la presión hidrostática del fluido y por defecto es 1. (Ver Ecuación).
- **MF_REFDENS:** R; > 0 ; kg/m³ o lb/ft³; Densidad de referencia que por defecto es igual a la densidad del agua. Debe ser siempre $\geq$ la densidad del agua. (Ver Ecuación).
- **MF_THETA:** R; > 0 ; grados; Ángulo de fricción interna.
- **MF_VISCVAR:** I; 1, 2, 3; -; Cuando se selecciona Viscosidad variable en el panel DIP, este valor es 2. Cuando NO se selecciona viscosidad variable en el panel DIP, este valor es 1. Cuando se selecciona Tabla de viscosidad en el panel DIP, el valor es 3.
- Viscosidad constante,
- Viscosidad variable según fórmula exponencial. Viscosidad = MF_ALFAV * Exp(MF_BETAV * Cv).
- El modelo interpolará la viscosidad de una tabla de Concentración de Volumen vs Viscosidad. La tabla debe proporcionarse en un archivo definido en la línea 27. Consulte el formato del archivo en la sección siguiente.
- **MF_YS:** R; > 0 ; Pa o lb/in²; Esfuerzo de fluencia.
- **MF_YSVAR:** I; 1,2, 3; -; Cuando se selecciona el límite elástico variable en el panel DIP, el valor es 2. Cuando el límite elástico variable NO se selecciona en el panel DIP, este valor es 1. Cuando se selecciona Tabla de límite elástico en el panel DIP, el valor es 3.
- Estrés de rendimiento constante.
- Estrés de producción variable según fórmula exponencial $Y_s = MF_ALFAYS * \text{Exp}(MF_BETAYS * C_v)$.
- El modelo interpolará el límite elástico de la tabla de concentración de volumen frente al límite elástico. La tabla debe proporcionarse en un archivo definido en la línea 28. Consulte el formato del archivo en la sección siguiente.
- **MF_CVSVISCFIL:** S; < 26 ; -; Nombre del archivo de la tabla de concentración volumétrica vs viscosidad.
- **MF_CVVSYSFIL:** S; < 26 ; -; Nombre del archivo de la tabla de concentración volumétrica frente a límite elástico. INICON &R $\geq$ &-& Concentración volumétrica inicial de sedimento Cv para cada fracción en el lecho. La suma de todas las concentraciones iniciales debe ser inferior a 0,8. Estos valores solo se utilizan si no hay ningún archivo. Las concentraciones iniciales de sedimento se establecerán de acuerdo con el archivo, si se proporciona.
- **ISSETFOR:** I; 1-9; -; Fórmula de velocidad de asentamiento. Es una fórmula única para todas las fracciones. Este código indica la fórmula según esta 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 según esta 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 por la fórmula seleccionada en ISETFOR. - **SSDEN**: R; > 0 -; -; Densidad de sedimentos para cada fracción. Ver comentario 1. - **SSPOR**: R; [0.3-0.6]; -; Porosidad. Ver comentario 1. - **SSTFACT**: R; [0,1]; -; Factor de fórmula de concentración de equilibrio para cada fracción. Este factor es el parámetro β_p en la ecuación que multiplica la fórmula de concentración de equilibrio ISSTF. Ver comentario 1. - **THETAC**: R; 0.03-0.06; -; Estrés crítico del escudo. Ver comentario 1.

15.17.2 Archivos de datos opcionales de viscosidad o límite elástico

Al seleccionar la opción Tabla de las listas desplegables Cálculo de viscosidad o Cálculo de límite elástico, se debe proporcionar un archivo de datos que represente la variación de la viscosidad o el límite elástico con la concentración volumétrica C_v .

El formato del archivo es el siguiente.

Línea 1: Numere los puntos en la serie de datos.

NDATA

Líneas NDATA que contienen

Cv(I) VARIABLE(I)

Donde VARIABLE(I) es la viscosidad o límite elástico para el $C_v(I)$ correspondiente.

15.17.2.1 Ejemplo de archivos de datos de viscosidad o límite elástico

El siguiente ejemplo muestra datos de límite elástico en función de C_v , donde NDATA es 5 y hay 5 líneas con pares de C_v e Y_s :

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 las tensiones se pueden agrupar en la misma fórmula matemática a pesar de tener diferente naturaleza. De esta manera se pueden considerar varias formulaciones de esfuerzos cortantes: esfuerzo turbulento τ_t , esfuerzo dispersivo τ_d , esfuerzo friccional tipo Coulomb τ_f , esfuerzo elástico τ_y y esfuerzo viscoso τ_μ . La tabla incluye términos de turbulencia-colisión, límite elástico y resistencia al flujo laminar en una ley reológica cuadrática, donde se supone un valor estándar de $\kappa = 24$. En esta tabla también se incluyen los parámetros de entrada que son necesarios para su cálculo.
2. Las fórmulas utilizadas en el modelo para calcular la viscosidad y el límite elástico basadas en Cv utilizan coeficientes que siempre deben proporcionarse en unidades 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 que el proyecto general utilice 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 Bingham, límite elástico, densidad.
- **3:** Bingham simplificado; $\tau_b = 1.5\tau_y + 3\tau_\mu$; Viscosidad Bingham, límite elástico, densidad.
- **4:** Turbulento y Coulomb; $\tau_b = \tau_t + \tau_f$; n de Manning, densidad, ángulo de fricción
- **5:** Turbulento y esfuerzo de fluencia; $\tau_b = \tau_t + \tau_y$; n de Manning, densidad, esfuerzo de fluencia
- **6:** Turbulento, Coulomb y esfuerzo de fluencia; $\tau_b = \tau_t + \min(\tau_y, \tau_f)$; n de Manning, densidad, esfuerzo de fluencia, ángulo de fricción
- **7:** Cuadrático; $\tau_b = \tau_t + \tau_y + \frac{\kappa}{8}\tau_\mu$; n de Manning, densidad, límite elástico, 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-Bulkley; $\tau_b = \tau_f + (2 + 1/m)^m \mu_P (|U|/h)^m$, $\tau_f = (\rho - \Gamma\rho_w)gh$; requiere densidad, esfuerzo de fluencia y 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 de Lodos y Relaves: .CINITIAL

HydroBID Flood permite definir áreas dentro de la malla que inicialmente tienen materiales con diferentes concentraciones. Por ejemplo, es posible considerar un yacimiento de agua con concentraciones volumétricas cero y depósitos de relaves con múltiples clases como el estado inicial que existe al inicio de una simulación. Se supone que el agua o los relaves están sobre el terreno existente. Por lo tanto estas condiciones pertenecen al material que fluye y no a la caracterización del terreno inicial.

En el módulo MT el usuario también puede ingresar una *Supernatant Water Pond elevation*.

El usuario puede ingresar 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. Cuando se usa *Supernatant Water Pond elevation*, el modelo diluye todas las concentraciones volumétricas dadas para cada clase de acuerdo con el volumen de agua en cada celda que pertenece a ese polígono. Tenga en cuenta que, para los depósitos de agua que no están sobre depósitos de relaves o para depósitos de relaves iniciales que no tienen agua sobrenadante, ZWPOND debe configurarse 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

Luego concentraciones de clase MF_NFRAC 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.

Lo 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 existen 3 clases de sedimentos, la concentración volumétrica para la clase 1 es 0,10, para la clase 2, 0,35 y la concentración para la clase 3 es igual a 0,50.

En una simulación con 3 clases y un depósito de agua el archivo sería como el siguiente para un polígono sobre el depósito de agua:

3

0.0

0.0

0.0

Indicando que la concentración para cada clase de sedimento es 0 la cual corresponde al agua.

Con la información proporcionada con el formato descrito anteriormente, el modelo creará el archivo que indica las concentraciones volumétricas iniciales y ZWPOND para cada celda en base a los polígonos ingresados. Por lo tanto, el archivo resultante tendrá columnas MF_NFRAC+1 y líneas NELEM de la siguiente manera:

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

HydroBID Flood permite definir distribuciones de granos de sedimentos espacialmente variables en el lecho cuando se utilizan los módulos de lodo y relaves (MT) o de transporte de sedimentos (ST). El usuario puede ingresar polígonos en la capa *InitialBedFractions* y asignar un nombre *bed fractions file* a cada polígono que contenga la fracción para cada tamaño de sedimento.

Cada polígono debe tener un archivo auxiliar proporcionado por el usuario que indique la fracción de 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 sedimento.

A continuación se muestra un ejemplo del archivo auxiliar de fracción inicial 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 con el formato descrito anteriormente, el modelo creará el archivo que indica las fracciones iniciales sobre el lecho para cada celda en función de los polígonos ingresados.

El archivo de fracciones iniciales del lecho resultante escrito por el modelo contendrá líneas NELEM (una para cada celda) y cada línea tendrá la fracción separada por espacios para cada clase de tamaño de la siguiente manera:

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 proporcionadas en el archivo.

Tenga en cuenta que cuando se utiliza la opción *Bed Fraction Evolution* o *Active Bed Layer*, el modelo tendrá en cuenta los cambios en el tamaño de los granos 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 de lodo y relaves: .INITIALSTATE

El modelo de propiedades variables de HydroBID Flood MT puede utilizar un archivo .INITIALSTATE para definir condiciones iniciales de velocidad y profundidad del agua espacialmente variables, como el flujo de un río existente aguas abajo de una presa de relaves.

Utilice el siguiente procedimiento:

1. Ejecute una simulación base inicial que represente el caudal del río y cualquier otra condición que existiera 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 debe establecer solo el flujo inicial del río mientras la presa permanece en su lugar.

2. Una vez completada la simulación base, abra la carpeta del proyecto y busque `mudInitialState.out`. Duplique este archivo y cambie el nombre de la copia usando 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 idénticas en ambas simulaciones.
4. Configure y ejecute la simulación de falla de la presa con las elevaciones iniciales del depósito de relaves definidas por 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 húmeda al final de la simulación base. Las elevaciones iniciales del depósito de relaves se obtienen a partir del ráster especificado o de los polígonos *initialWSE*.

Nota: Este procedimiento no funciona cuando se selecciona la opción **Hotstart**.

15.18 Archivo de modelo de petróleo sobre tierra: `.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 utilizando el modelo `OilFlow2D` y considera la transferencia de calor entre el petróleo que fluye y el entorno y la dependencia de las propiedades del petróleo con la temperatura.

Línea 1: número de versión del archivo `OILP`.

OL_FILEVERSION

Línea 2: Relación de resistencia al flujo.

OL_FRR

Línea 3: Estrés de rendimiento.

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 aceite.

OL_DENS

Línea 7: Archivo de series temporales de temperatura.

OL_TEMPTSERIES

Línea 8: Temperatura - Viscosidad - Archivo de tabla de densidad.

OL_TEMPVISCDENS

Línea 9: Opción de evaporación.

OL_EVAPOPTION

Línea 10: Coeficientes de cálculo de 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 densidad.

OL_DENSFOR

Línea 14: Parámetros de formulación de densidad.

RHO0 T0 Lambda OL_DENSPAR4 ... OL_DENSPAR10

Línea 15: Archivo de formulación de densidad.

OL_DENSFILENAME

Línea 16: Formulación de viscosidad.

OL_VISCFOR

Línea 17: Parámetros de formulación de viscosidad.

Av Bv OL_VISCPAR3 ... OL_VISCPAR10

Línea 18: Archivo de formulación de viscosidad.

OL_VISCFILENAME

Línea 19: Formulación del límite elástico.

OL_YSFOR

Línea 20: Parámetros de formulación del límite elástico.

Ays Bys Cys OL_YS ... OL_YS

Línea 21: Archivo de formulación de límite elástico.

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: Cambiar para celdas de límite húmedo.

OL_WETBOUNDARY

Línea 26: Cambiar a 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 archivos de salida de texto.

OL_TEXTOUTDT

Línea 31: Interruptor de retención de aceite 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 $\mu = e^{[Av+(Bv/T)]}$ aplicadas cuando OL_VISCFOR = 1.
- **Ays, Bys, Cys:** R; -; -; Constantes de regresión en la fórmula de límite elástico $Y_s = 10^{(AysT^2+BysT-Cys)}$ cuando OL_YSFOR = 1.
- **Lambda (Λ_ρ):** R; > 0; -; Gradiente de temperatura de la fórmula de Arafin et al. $\rho(T) = \rho_0 + \Lambda_\rho(T - T_0)$ 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 dada como 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 distribución de temperatura constante (0) o temperatura distribuida espacialmente (1) leída del archivo .initial.
- **OL_C1, OL_C2:** R; > 0; -; Coeficientes de cálculo de evaporación utilizados para calcular la viscosidad y la densidad según 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 tabla de temperatura-viscosidad-densidad y al archivo de datos de temperatura.
- **OL_DENSFILENAME:** S; -; -; Archivo de formulación de 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 ρ_0 en kg/m³ o lb/ft³, T_0 en °C o °F y Λ_p en kg/m³ °C o lb/ft³ °F.
- Formulación de densidad Arafin para densidad. El modelo no incorpora la variable densidad en las ecuaciones.
- La densidad se establece mediante interpolación de la tabla proporcionada en OL_DENSFILENAME. En este caso el modelo no incorpora la variable densidad en las ecuaciones, ya que viene dada por los valores de la tabla para una temperatura determinada.
- **OL_DENSPAR4..10:** R; -; -; Parámetros de formulación de densidad que se agregarán 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 evaporación:
 - No se calcula la evaporación,
 - Se calcula la tasa de evaporación y se estiman las propiedades según la tabla de densidad y viscosidad dada.
 - La tasa de evaporación se calcula y las propiedades se calculan mediante el modelo mediante una fórmula.
- **OL_FRR:** I; 3; -; Relación de resistencia al flujo (véase la tabla correspondiente).
- **OL_HTOPTION:** I; 0, 1; -; Selector 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 agregarán en futuras actualizaciones.
- **OL_MAXTEMP:** R; > 0; °C o °F; Temperatura máxima del aceite permitida.
- **OL_RETOPT:** I; 0,1; -; Interruptor de retención de superficie. La retención de aceite por el suelo se desactivará cuando este interruptor se establezca en 0, y si se establece en 1, el terreno retendrá el aceite hasta la profundidad indicada por OL_RETOPT.
- **OL_HRETENTION:** R; >= 0; -; Profundidad de retención superficial aplicable a todas las celdas. Es la variable $h_{\text{retention}}$ de la ecuación correspondiente. 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 la profundidad del petróleo por debajo de ese valor. Consulte el formato del archivo .deteninitial a continuación.
- **OL_TEMPTSERIES:** S; ≤ 26; -; Archivo de series temporales de temperatura utilizado en el modelo básico.
- **OL_TEMPVISCDENS:** S; ≤ 26; -; Archivo de tablas de temperatura-viscosidad-densidad. El modelo básico utilizará la temperatura durante 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/in²; Viscosidad del fluido que utilizará el modelo básico si no se proporcionan las líneas correspondientes al archivo de tabla de temperatura-viscosidad-densidad y al archivo de datos de temperatura.
- **OL_VISCFilename:** S; -; -; Archivo de formulación de 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 (1934) $\mu = e^{[Av + (Bv/T)]}$, con Av en Pa-s o lb-s/in², Bv en Pa-s/°C o lb-s/in² °F, y T es la temperatura del aceite en °K
- Determinado por interpolación de la tabla proporcionada en el archivo OL_VISCFilename.
- **OL_VISCPAR3..10:** R; -; -; Parámetros de formulación de viscosidad que se agregarán en futuras actualizaciones para fórmulas alternativas.
- **OL_WINDVEL:** R; ≥ 0; m/s o ft/s; La velocidad del viento se supone constante en el tiempo y el espacio y se utiliza para calcular la tasa de evaporación en un 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/in²; Esfuerzo de fluencia utilizado en el modelo básico.

- **OL_YSFILENAME:** S; -; -; Archivo de formulación de estrés de fluencia. Contiene una tabla de temperatura vs límite elástico.
- **OL_YSFOR:** I; 1,2; -; Límite elástico en Pa o lb/in formulación ².
- Formulación 1: $Y_s = 10^{A_{ys}T^2 + B_{ys}T - C_{ys}}$, con A_{ys} en Pa/°C² o lb/in²°F², B_{ys} en Pa/°C o lb/in²°F, y C_{ys} en Pa o lb/in²,
- Determinado por interpolación de la tabla proporcionada en el archivo OL_YSFILENAME.
- **OL_ENVOPTIONS:** I; 0,1,2; -; Configure la opción para usar parámetros ambientales.
- El modelo no calculará la transferencia de calor,
- Utilice parámetros ambientales constantes tal como se ingresan en la línea 21 del archivo .OILP,
- Utilice los parámetros definidos en el archivo OL_ENVFILENAME.
- **OL_YSPAR4..10:** R; -; -; Parámetros de formulación de límite elástico que se agregarán en futuras actualizaciones para fórmulas alternativas.
- **Q_RAD:** R; > 0; W/m² o BTU/ft² s; Radiación solar. Valor Q_RAD constante utilizado si OL_ENVOPTIONS está configurado en 1 (Constante).
- **RHO0 (ρ_0):** R; > 0; kg/m³ o lb/ft³; 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_0):** R; -; °C o °F; Temperatura de referencia en la fórmula de Arafin et al. $\rho(T) = \rho_0 + \Lambda_\rho \cdot (T - T_0)$ cuando OL_DENSFOR = 1.
- **T_AIR:** R; -; °C o °F; Temperatura del aire. Si Q_RAD se establece en -1, el modelo utilizará la lectura T_AIR del archivo de parámetros ambientales indicado en la línea 22.
- **OL_WETBOUNDARY:** I; 0,1; -; Interruptor para celdas de límite húmedo.
- No hay opciones de celdas húmedas.
- El modelo escribirá un archivo llamado wetBcells.out que contiene los números de celdas de los límites de la lista que se mojan durante la ejecución.
- **OL_WATERLAYER:** I; 0,1; -; Cambiar por agua de capa inferior.
- El modelo ignorará el flujo de petróleo sobre el agua.
- El modelo considerará el flujo de petróleo sobre el agua subyacente. Esto requiere un análisis hidrodinámico del agua previo que determine el flujo de agua (ver OL_WATERPATH a continuación)
- **OL_WATERRHO:** R; > 0; g/m³ o lb/ft³; Densidad del agua.
- **OL_CD:** R; 0.001 – 0.005; -; Coeficiente de resistencia adimensional entre aceite y agua.
- **OL_WATERPATH:** S; -; -; Ruta a los archivos hidrodinámicos cell_time_*.textout. Estos archivos contienen los resultados de un análisis hidrodinámico del agua existente.

- **OL_NFTEXOUR:** I; –; –; Número de archivos hidrodinámicos cell_time_*.textout.
- **OL_TEXTOUTD:** R; –; h; Intervalo de tiempo entre archivos hidrodinámicos cell_time_.textout.
- **2:** Bingham completo; $\tau_b = \tau_0$ con $f_1(\tau_b, \tau_0) = 0$; Viscosidad, límite elástico, densidad.
- **3:** Bingham simplificado; $\tau_b = 1.5\tau_y + 3\tau_\mu$; Viscosidad, límite elástico, densidad.
- **7:** Cuadrático; $\tau_b = \tau_t + \tau_y + \frac{\kappa}{8}\tau_\mu$; n de Manning, viscosidad, límite elástico, densidad.

15.18.1.1 Archivo de series temporales de temperatura

Los archivos de series de tiempo de temperatura solo se utilizan en el modelo básico y contienen la temperatura ambiente para cada momento de la simulación. La primera línea tiene el número de líneas de la serie temporal, luego 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 serie temporal de temperatura:

```
7
0.0 60
2.0 65
4.0 70
6.0 75
8.0 77
10.0 79
12.0 65
```

En este ejemplo hay 7 entradas en la serie Temperatura y tiempo. Durante el tiempo inicial de 0,0 horas, la temperatura es 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 densidad para diferentes temperaturas. El modelo básico interpolará los valores de la tabla para asignar al aceite la viscosidad y densidad para la temperatura actual.

El siguiente es un ejemplo de un archivo Temperatura-Viscosidad-Densidad:

```
2
50 1.38E-06 58.00
120 6.94E-07 56.00
```

En este ejemplo hay 2 líneas en el archivo de la tabla Temperatura-Viscosidad-Densidad. Para 50° F la viscosidad es 1.38×10^{-6} lb-s/in² y la densidad 50 lb/ft³.

15.18.3 Archivo de series temporales de temperatura frente a densidad

El archivo de series de tiempo de temperatura solo se utiliza en el modelo de transferencia de calor y contiene una tabla de temperatura y densidad de aceite correspondiente para cada momento de

la simulación. La primera línea tiene el número de líneas de la serie temporal, luego una lista de temperatura y densidad. Este archivo es opcional y solo será necesario al seleccionar la opción de interpolación para densidad.

El siguiente es un ejemplo de un archivo de serie temporal 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 de tiempo de temperatura solo se utiliza en el modelo de transferencia de calor y contiene una tabla de temperatura y viscosidad dinámica del aceite correspondiente para cada momento de la simulación. La primera línea tiene el número de líneas de la serie temporal, luego una lista de temperatura y viscosidad dinámica. Este archivo es opcional y solo será necesario al seleccionar la opción de interpolación para viscosidad.

El siguiente es un ejemplo de un archivo de series de tiempo 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 tensión de rendimiento

El archivo de series de tiempo de temperatura solo se utiliza en el modelo de transferencia de calor y contiene una tabla de temperatura y el límite elástico del aceite correspondiente para cada momento de la simulación. La primera línea tiene el número de líneas de la serie temporal, luego una lista de temperatura y límite elástico. Este archivo es opcional y solo será necesario al seleccionar la opción de interpolación para límite elástico.

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 pies/s), la humedad relativa (0-1), la temperatura del aire (° C o ° F) y la radiación solar (W/m² o BTU/pie²). El modelo utilizará los datos de este archivo si la radiación solar ingresada 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 para que el modelo considere una profundidad de retención espacialmente variada.

Nota

NOTA: Es importante tener en cuenta 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 petróleo menor que HRet será cero. Por esta razón, los valores de HRet deben ser del orden de milímetros.

El modelo puede crear este archivo basándose en los polígonos ingresados en el complemento HydroBID Flood QGIS según los datos de la capa *Oil Retention*. El usuario puede ingresar polígonos y asignar un nombre de archivo de profundidad de retención correspondiente a cada polígono.

Los archivos contendrán la lista de profundidad de retención, una por línea, para todas las celdas.

HRet(1)

HRet(2)

...

HRet(NELEM)

15.19 Archivo de óleo sobre agua: .OILW

Este archivo solo se aplica al modelo OilFlow2D. Este archivo proporciona los parámetros necesarios para modelar derrames de petróleo en el agua utilizando 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)**

Línea 18: **Boom Component Switch**

Línea 19: **Wind Velocity Coefficient**

Para SpillSite 1 a NSpillSites

Spill Site ID

[Trajectory]

Water Density

X Y Z

Number of Parcels

Oil Density

Oil Viscosity

Initial Spill Time**Disp_L Disp_T Disp_V****Spill Accumulated Volume File****Moving Spill Switch****Spill Release File****0****0****0****0****0****0****0****0****[Evaporation]****Evaporation Method** // 1: Fingas; 2: Stiver-MacKay**Oil ID****PD** Fracción en peso 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 aceite 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 captura inferior

ShoreTrapping // Opción de captura costera

Vegetation trapping switch

Dispersant Application Switch

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 del sitio del derrame

- **Version Number:** I; -; -; Número entero que indica la versión del modelo.
- **NSpillSites:** I; ≥ 1 ; -; Número de sitios de derrame.
- **[CONTROLDATA]:** & & Grupo de datos de control común a todos los sitios de derrames.
- **Boom switch:** I; 0,1; -; 0: No se considerarán barreras. 1: Plumas activadas.
- **Evaporation switch:** I; 0,1; -; 0: No se calculará la evaporación. 1: Se calculará la evaporación.
- **Emulsification switch:** I; 0,1; -; 0: No se calculará la emulsificación. 1: Se calculará la emulsificación.

- **Shoreline switch:** I; 0,1; -; 0: No se considerará la interacción del petróleo con las costas. 1: Se considerará la interacción del petróleo con las costas.
- **Dispersion switch:** I; 0,1; -; 0: No se calculará la dispersión del aceite. 1: Se calculará la dispersión del aceite.
- **Dissolution switch:** I; 0,1; -; 0: No se considerará disolución. 1: Se considerará la disolución.
- **Sedimentation switch:** I; 0,1; -; 0: No se calculará la sedimentación del petróleo. 1: Se calculará la sedimentación del petróleo.
- **Simulation time:** R; > 0; h.; Tiempo total de simulación en horas.
- **Output interval:** R; > 0; h.; Informe del intervalo de salida en horas.
- **Time step:** R; > 0; s.; Paso de tiempo que se utilizará en la solución numérica del algoritmo de seguimiento de partículas.
- **Grid Cell Factor (GCF):** R; > 0; -; Este factor se utiliza para construir una cuadrícula virtual sobre la malla que se utiliza para optimizar el algoritmo de ubicación de partículas. El tamaño de la cuadrícula es igual a GCF * Tamaño mínimo de celda. El programa determinará todas las celdas de la malla que se encuentran dentro de cada elemento de la cuadrícula. De esta manera, el algoritmo de búsqueda primero ubicará la partícula dentro del elemento de la grilla y luego, para determinar en qué celda se encuentra la partícula, buscará solo entre las celdas que se encuentran en ese elemento de la grilla, reduciendo así el tiempo de búsqueda. Cuanto más grandes sean los GCF, más celdas de malla estarán en cada elemento de la cuadrícula, lo que hará que la búsqueda sea más ineficiente. El valor predeterminado es 20, lo que construirá elementos de cuadrícula 20 veces más grandes que el tamaño mínimo de celda.
- **Wind velocity file:** S; -; -; Nombre del archivo de velocidad del viento. Consulte la sección de formato de archivo de velocidad del viento.
- **Temperature file:** S; -; -; Nombre del archivo de temperatura ambiente. Consulte la sección de formato de archivo de temperatura ambiente.
- **Velocity field path:** S; -; -; Ruta donde se encuentran los resultados de los archivos del campo de velocidad.
- **Spill site ID:** S; ≤ 26 ; -; Nombre del sitio del derrame.
- **[TRAJECTORY]&:** &; Grupo de datos de trayectoria para cada sitio de derrame.
- **Water density:** R; ≥ 0 ;
- **X Y Z:** R; -; ft. - m.; Coordenadas del sitio del derrame.
- **Nparcels:** I; > 0; -; Número de parcelas o partículas que representan el derrame.
- **Oil density:** R; > 0; API; Densidad inicial del petróleo en el momento del derrame.
- **Oil viscosity:** R; > 0; cP - lb-s/ft²; Viscosidad inicial del petróleo en el momento del derrame.
- **Initial Spill Time:** R; > 0; h.; Viscosidad inicial del petróleo en el momento del derrame.

- **Disp_L:** R; > 0 ; ft^2/s - m^2/s ; Coeficiente de dispersión longitudinal.
- **Disp_T:** R; > 0 ; ft^2/s - m^2/s ; Coeficiente de dispersión transversal.
- **Disp_V:** R; > 0 ; ft^2/s - m^2/s ; Coeficiente de dispersión vertical.
- **Spill Accumulated Volume File:** S &-; c-; Archivo de volumen de derrame. Ver formato en la sección correspondiente.
- **SpillReleaseSwitch:** I; 0,1; -; Interruptor de ruta de derrame. 0 indica derrame de punto fijo, 1 indica que la ruta de derrame la proporcionará el archivo de volumen SpillReleaseFile.
- **SpillReleaseFile:** S &-; c-; Archivo de ruta de liberación de derrames. Ver formato en la sección correspondiente.
- **[EVAPORATION]&:** &; Grupo de datos de evaporación para cada sitio de derrame.
- **Evaporation Method:** I; 1,2; -; 1: Fingas; 2: Stiver-MacKay.
- **OilID:** I; -; -; ID de aceite para el método Fingas seleccionado en la lista desplegable.
- **PD:** R; [0,1]; -; Fracción en peso destilada a 180°C .
- **Kevap:** R; ≥ 0 ; -; Coeficiente de transferencia de masa.
- **A:** R; ≥ 0 ; -; Constante de Stiver-MacKay A.
- **B:** R; ≥ 0 ; -; Constante de Stiver-MacKay B.
- **[EMULSIFICATION]&:** &; Grupo de datos de emulsificación para cada sitio de derrame.
- **Kemul:** R; ≥ 0 ; -
- **Yf:** R; ≥ 0 ; -
- **[DISSOLUTION]&:** &; Grupo de datos de disolución para cada sitio de derrame.
- **Kdiss:** R; ≥ 0 ;
- **S:** R; ≥ 0 ; & Solubilidad en agua.
- **So:** R; ≥ 0 ; & Solubilidad en aceite.
- **Alpha:** R; ≥ 0 ; & Decaimiento constante.
- **[SHORELINE]&:** &; Grupo de datos de interacción entre costa y fondo para cada sitio de derrame.
- **BottomTrapping:** I; 0,1; -; 0: Las partículas no quedarán atrapadas cuando lleguen al fondo (predeterminado). 1: Las partículas de aceite quedarán permanentemente adheridas al fondo tan pronto como lo toquen.
- **Vegetation trapping switch:** I; 0,1; -; 0: Las partículas no quedarán atrapadas por la vegetación. 1: Las partículas de aceite se adherirán a las celdas pertenecientes a los polígonos de vegetación.
- **Dispersant Application Switch:** I; 0,1; -; 0: No se simularán dispersantes, 1 indica que se simularán dispersantes.

15.19.1 Ejemplo de un archivo .OILW

```

201910 // version
1 // NSpillSite
[ControlData]
0 // Evaporation Switch
0 // Emulsification Switch
0 // Shoreline Switch
0 // Dispersion Switch
0 // Dissolution Switch
0 // Sedimentation Switch
5 // Simulation Time
0.1 // Output Interval
10.0 // Time Step
Wind.DAT
Temperature.DAT
C:/Users/Hydronia Dell/Documents/Magdalena
base.OUTFILES // Velocity field output files
100 // Grid Cell Factor
0 // Boom component deactivated
0 // Velocity coefficient
OilSpill_1
[Trajectory]
1000.00 // Water Density
925018.358 1707701.919 0.000 // X Y Z
1000 // Nparcels
40.00 // Oil Density
15.000 // Oil Viscosity
1.00 // Initial SpillTime
1.000 1.000 0.001 // Disp_L Disp_T Disp_V
OilSpill_1.txt
0 // Moving Spill Switch
0 // Spill Release File
0
0
0
0
0
0
0
0
0
[Evaporation]
1 EvaporationMethod // 1: Fingas; 2: Stiver-MacKay
1 // Oils

```

40.00 PD // percentage (by weight) distilled at 180oC.
0.0025 // Kevp (mass transfer coefficient) // Stiver-MacKay
6.30 // A Stiver-MacKay
10.0 // B Stiver-MacKay
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
[Emulsification]
0.000002 // Kemul
0.7 // Yf
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
[Dissolution]
1.00 // Kdiss
0.00 // S Water solubility
0.0184 // So Solubility of fresh oil
0.423 // Alfa Decay constant
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
[Dispersion]
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
[Sedimentation]
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use

```

0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
[Shoreline]
0 // No bottom Trapping
1 // Do shore trapping
0 // Vegetation trapping switch
0 // Dispersant Application Switch
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use
0 // For future use

```

15.19.2 Archivo de entrada de volumen acumulado

Este archivo especifica los volúmenes liberados en el derrame en cada momento. Independientemente del sistema de unidades del proyecto, los volúmenes deben proporcionarse en barriles (bbl). El formato es el siguiente.

Línea 1: Número de puntos en la serie temporal del volumen de derrame acumulado.

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 en series temporales.
- **TIME:** $R; \geq 0$; h; Tiempo.
- **ACCVOL:** $R; -$; bbl; Volumen de derrame acumulado hasta este momento. Tenga en cuenta que se requiere que el volumen acumulado dado una vez sea siempre mayor o igual al volumen acumulado dado la vez anterior.

15.19.4 Archivo de liberación de derrames

Este archivo especifica la ruta de la liberación del derrame. El derrame se liberará a lo largo de la ruta definida en este archivo. El formato es el siguiente.

Línea 1: Número de puntos en la serie temporal de liberación del derrame.

NPOINTS

Líneas NPOINTS que contienen:

Coordenada de tiempo y punto

TIME Xp Yp

15.19.5 Ejemplo de archivo de liberación de derrames

```

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; ≥ 1 ; -; Número de puntos de datos en series temporales.
- **TIME:** R; ≥ 0 ; h; Tiempo.
- **Xp:** R; -; ft - m; Coordenada X de este punto de derrame.
- **Yp:** R; -; ft - m; Coordenada Y de este punto de 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) en función de 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 el experimento

NP_USED

Línea 3: Lista de solutos utilizados (todo 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 transversal = 0,02. - **NITRATE:** El nombre del contaminante No. 1 es: NITRATO - **AMMONIUM:** El nombre del contaminante nº 2 es: AMONIO - **TEMPERATURE:** El nombre del contaminante No. 3 es: TEMPERATURA - **CHLORINE:** El nombre del contaminante No. 4 es: CLORO - **PHOSPHATE:** El nombre del contaminante No. 5 es: FOSFATO - **0.20.00.00.00.0:** La constante de reacción de primer orden para el contaminante nº 1 es 0,2 - **0.00.10.00.00.0:** La constante de reacción de primer orden para el contaminante nº 2 es 0,1 - **0.00.01.10.00.0:** La constante de reacción de primer orden para el contaminante nº 3 es 1,1 - **0.00.00.00.20.0:** La constante de reacción de primer orden para el contaminante nº 4 es 0,2 - **0.00.00.00.00.5:** La constante de reacción de primer orden para el contaminante nº 5 es 0,2

- **DISPL:** R; > 0; m²/s o ft²/s; Coeficiente de dispersión longitudinal.
- **DISPT:** R; > 0; m²/s o ft²/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) 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 el presente experimento.

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 HydroBID Flood QGIS en función de los datos ingresados en la capa *Initial Concentrations*. El usuario puede ingresar polígonos y asignar un nombre de archivo de concentración inicial correspondiente a cada polígono. 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 para cada celda en función de los polígonos ingresados. 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 columnas NP_MAX y líneas NELEM.

Nota

Las unidades de concentración de contaminantes son arbitrarias. El usuario puede utilizar la concentración de volumen Cv (fracción de 1), mg/l, ppt, ppm o cualquier otra unidad adecuada, siempre que las condiciones límite del flujo de entrada sean consistentes.

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 HydroBID Flood.

15.21.1 Archivo .SEDS para datos de sedimentos suspendidos

El archivo proporciona los datos para el modelo de transporte de sedimentos en suspensión.

Línea 1: interruptor de opción de sedimento suspendido.

ISSACT

Línea 2: Número de clases/fracciones de sedimentos suspendidos.

NSSNFRAC

Línea 3: Fórmula de concentración de equilibrio.

ISSTF

Línea 4: Densidad de sedimentos para cada fracción.

SSDEN(1) ... SSDEN(NSSNFRAC)

Línea 5: Concentración inicial de sedimento suspendido para cada clase/fracción de sedimento.

INICON(1) ... INICON(NSSNFRAC)

Línea 6: Para uso futuro.

DUMMY1(1) ... DUMMY1(NSSNFRAC)

Línea 7: Tamaño del sedimento suspendido D50 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 de escudo crítico 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 fórmula de concentración de equilibrio para cada clase/fracción de sedimento.

SSTFACT(1) ... SSTFACT(NSSNFRAC)

Línea 13: Fórmula de velocidad de asentamiento.

SETFOR

Línea 14: Factores de la fórmula de velocidad de sedimentación para cada clase/fracción de sedimento.

SETFORFACT(1) ... SETFORFACT(NSSNFRAC)

Línea 15: Coeficientes de dispersión longitudinal y transversal.

DISPL DISPT

Línea 16: Fracciones de clases de sedimentos iniciales 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 sedimento. Ver comentario 1.
- **ISSACT:** I; 0,1,2; -; Interruptor de opción de sedimento suspendido.

1. Sin transporte de sedimentos en suspensión.
2. Calcular el transporte de sedimentos suspendidos con una distribución de fracción de lecho constante en el tiempo.
3. Calcular el transporte de sedimentos en suspensión considerando la evolución de la fracción del lecho (capa activa). Esta opción funcionará solo cuando IBLACT = 0 o 2. Consulte la tabla.

- **NSSNFRAC:** I; 1-10; -; Número de fracciones de sedimento en suspensión.
- **ISSTF:** I; 1, 2, 3; -; Fórmula de concentración de equilibrio. Este código indica la fórmula según esta 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. Ver comentario 1.
- **DUMMY2:** R; > 0; -; No se utiliza en esta versión, pero debe estar presente.
- **DISPL:** R; > 0; m²/s o ft²/s; Coeficiente de dispersión longitudinal.
- **DISPT:** R; > 0; m²/s o ft²/s; Coeficiente de dispersión transversal.
- **SSPOR:** R; 0.3-0.6; -; Porosidad. Ver comentario 1.
- **THETAC:** R; 0.03-0.06; -; Estrés crítico del escudo. Ver comentario 1.
- **FRICANG:** R; 5-45; -; Ángulo de fricción. Ver comentario 1.
- **BEDFRACT:** R; -; -; Fracción de sedimentos. La suma de todas las fracciones debe sumar 1.
- **SETFOR:** I; 1-9; -; Fórmula de velocidad de asentamiento. Es una fórmula única para todas las fracciones. Este código indica la fórmula según esta lista:

1. Rubey (1983) 2.Zhang (1961)
2. Zanke (1977)
3. Van Rijn (1984a)
4. Raudkivi (1990)
5. Julián (1998)
6. Cheng (1997)
7. Jiménez-Madsen (2003)
8. Wu-Wong (2006)

- **SETFORFACT:** R; -; -; Factor de fórmula de velocidad de asentamiento. Este factor multiplica la velocidad de sedimentación calculada por la fórmula seleccionada en ISETFOR. Es un factor que puede usarse para calibrar el modelo.
- **SSDEN:** R; -; -; kg/m³ o lb/ft³; Densidad de sedimentos en suspensión. Ver comentario 1.
- **SSTFACT:** R; -; -; Factor de fórmula de concentración de equilibrio para cada fracción. Este factor multiplica la fórmula de concentración de equilibrio ISSTF. Es un factor que puede usarse para calibrar el modelo. Ver 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 de sedimentos para cada fracción.

BLDEN(1) ... BLDEN (NBLNFRAC)

Línea 5: Tamaño del sedimento D30 para cada fracción.

D30(1) ... D30(NBLNFRAC)

Línea 6: Tamaño del sedimento D50 para cada fracción.

D50(1) ... D50(NBLNFRAC)

Línea 7: Tamaño del sedimento D90 para cada fracción.

D90(1) ... D90(NBLNFRAC)

Línea 8: Porosidad para cada fracción.

BLPOR(1) ... BLPOR(NSSNFRAC)

Línea 9: Esfuerzo de escudo crítico 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 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 computará el transporte de carga de fondo.
2. El transporte de sedimentos en carga de fondo se calculará sin evolución de fracciones de fondo.
3. El transporte de sedimentos de carga de fondo se calculará con la evolución de las fracciones de lecho (Capa Activa).

- **ICOUPLED:** I; 0,1; -; Interruptor de activación del transporte de carga de fondo. Si ICOUPLED = 0, el modelo se ejecutará en modo acoplado, donde 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 sedimento.

- **IBLTF:** I; 1–10; -; Interruptor de cálculo acoplado o desacoplado. Este código indica la fórmula según esta lista:

- **1. Meyer-Peter:** Müller (1948)
- 2. Ashida (1972)
- 3. Engelund (1976)
- 4. Fernández (1976)
- 5. Parker encaja con Einstein (1979)
- 6. Inteligente (1984)
- 7. Nielsen (1992)
- 8. Wong 1 (2003)
- 9. Wong 2 (2003)
- 10. Camenen-Larson (2005)

- **D30:** R; > 0; m o in; Tamaño del sedimento D30. El 30% del sedimento es más fino que D30. Solo se utiliza para la fórmula de Smart. Ver comentario 1.
- **D50:** R; > 0; m o in; Tamaño mediano del sedimento. El 50% del sedimento es más fino que D50. Ver comentario 2.
- **D90:** R; > 0; m o in; Tamaño del sedimento D90. El 90% del sedimento es más fino que D90. Solo se utiliza para la fórmula de Smart. Ver comentario 1.
- **BLPOR:** R; 0.3–0.6; -; Porosidad. Ver comentario 1.
- **THETAC:** R; 0.03–0.06; -; Esfuerzos críticos adimensionales de los escudos. Ver comentario 3.
- **FRICANG:** R; 5–45; -; Ángulo de fricción. Ver comentario 1.
- **BEDFRACT:** R; -; -; Fracción de sedimentos. La suma de todas las fracciones debe sumar 1. Ver comentario 1.
- **BLDEN:** R; -; kg/m³ o lb/ft³; Densidad de sedimentos. Ver comentario 1.
- **BLFORFACT:** R; -; -; Factor de fórmula de transporte para cada fracción. Este factor multiplica el resultado de la fórmula de transporte seleccionada (IBLTF). Es un factor que puede usarse para calibrar el modelo. Ver comentario 1.

15.21.2.2 Comentarios para el archivo .SEDB

1. Debe haber un valor para cada fracción de sedimento hasta NBLNFRAC.
2. Diámetro característico para todas las fórmulas de transporte de sedimentos.
3. La tensión crítica predeterminada de Shields es 0,047.
4. Cuando se selecciona transporte de carga suspendido y de lecho se considera la evolución de la fracción de lecho dependiendo de los valores seleccionados para ISSACT e IBLACT según la siguiente tabla

Bed Evolution				
Calculation I	SSACT			
IBLACT	0	1	2	
0	Off	Off	On	
1	Off	Off	Off	
2	On	On	On	

15.21.3 Archivo de datos de fracciones iniciales del lecho del módulo de transporte de sedimentos: .FBINITIAL

HydroBID Flood permite definir distribuciones de granos de sedimentos espacialmente variables en el lecho. El usuario puede ingresar polígonos en la capa *InitialBedFractions* y asignar un nombre *bed fractions file* a cada polígono que contenga la fracción para 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 de lecho para el tamaño de sedimento i. El archivo tendrá columnas NBLNFRAC o NSSNFRAC y líneas NELEM. Con esta información el modelo asignará la distribución granulométrica para cada celda en función de los polígonos ingresados. A todas las celdas que no estén contenidas dentro de los polígonos de la capa *InitialBedFractions* se les asignarán las fracciones proporcionadas en el archivo.

Tenga en cuenta que cuando se utiliza la opción *Bed Fraction Evolution* o *Active Bed Layer*, el modelo tendrá en cuenta los cambios en el tamaño de los granos del sedimento del lecho durante la simulación.

15.22 Archivo de datos del módulo de drenaje urbano: .LSWMM

Este archivo de datos permite ejecutar dinámicamente HydroBID Flood con el modelo EPA-SWMM para simular la interacción de la red de superficie/drenaje pluvial. El usuario puede definir múltiples ubicaciones de intercambio correspondientes a las bocas de acceso definidas en el archivo de proyecto 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 registro o nodos de intercambio.

NMAN

Grupo de líneas NMAN que incluye ID de pozo, coordenadas de pozo, diámetro y 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 existen 2 arquetas. La primera es N1, con coordenadas 264930.824 664804.843, Cd = 0,61 y diámetro = 0,8. Hay 4 celdas que contribuyen al pozo N1 (235, 7665, 7869 y 8798) y 5 celdas que contribuyen al pozo N2 (2236, 3634, 6832, 3745 y 2561). Para el nodo N2 se utilizará una tabla de clasificación para calcular la descarga de entrada proporcionada en el archivo HvsQTable.txt.

- **AUX_PARAM:** S, R; -; -
- Se ignora la línea AUX_PARAM.

- La línea AUX_PARAM contiene el nombre del archivo de la tabla de clasificación (profundidad frente a descarga). Vea el formato a continuación.
- La línea AUX_PARAM contiene un texto para uso futuro.
- La línea AUX_PARAM contiene dos parámetros, elevación de celdas H_ROOF y coeficiente KT_roof.
- **Q_OPT:** I; 0, 1, 2, 3; -
- Cálculo predeterminado basado en la fórmula del orificio circular en función de la profundidad promedio entre todas las celdas húmedas de la lista.
- La descarga se calcula con base en la tabla de clasificación (profundidad frente a Q). El nombre del archivo debe figurar en la línea AUX_PARAM.
- Para uso futuro.
- Calcula el caudal de intercambio en función de la herramienta de tejado descrita en la sección.
- **Cd(I):** R; > 0; -; Coeficiente de descarga para el nodo de intercambio I.
- **CELL(I):** R; -; -; Números de celdas que aportan flujo a esta alcantarilla.
- **DIAM(I):** R; -; m o ft; Diámetro del nodo de intercambio I. Ver comentario a continuación.
- **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 esta alcantarilla. Si NCELLS = 0, la celda de pozo es la única celda de intercambio con el modelo SWMM.
- **NMAN:** I; > 0; -; Número de arquetas o nodos de intercambio.
- **X(I) Y(I):** R; -; m o ft; Coordenadas del nodo de intercambio I.

15.22.2 Archivos de datos de descarga en función de la profundidad

Este formato se aplica a la tabla de profundidad frente a descarga utilizada para CALC_OPT = 1.

Línea 1: Numere los puntos en la serie de datos.

NDATA

Líneas NDATA que contienen profundidad y descarga.

h(I) Q(I)

Donde h(I) es la profundidad del agua y Q(I) es el caudal correspondiente.

15.22.2.1 Comentarios para el archivo

La descarga de agua desde la malla hacia el nodo de entrada del SWMM se calcula con 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 clasificación h vs Q proporcionada en el archivo AUX_PARAM.
3. Si CALC_OPT = 3, Q se calcula en función de la herramienta Rooftop 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 que el modelo informe series temporales de resultados en ubicaciones especificadas por el usuario en función de coordenadas de puntos. El nombre y formato de los archivos de puntos de observación se describen en esta sección. Con base en la cantidad de puntos ingresados en la capa *Observation points*, el archivo indicará la cantidad de puntos de observación y luego la lista de coordenadas de puntos.

Línea 1: Número de puntos de observación.

NOBSPPOINTS

NOBSPPOINTS grupos de líneas que contienen el ID del punto de observación y las coordenadas de cada punto:

ObsID

X_OP(I) Y_OP(I)

...

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 expediente tiene tres puntos. El primer punto se llama PuntoA y tiene 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 o 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 para los trazados generados mientras se ejecuta el modelo.

Línea 1: Trazar variables de control.

IGRAPHCODE COLORSCHEME IAXES IDXF IGRAPHFILES IVSF

Línea 2: Multiplicador de escala del vector de velocidad.

SF_MULT

Línea 3: Coordenadas para la ventana de trazado.

XMING XMAXG YMING YMAXG

Línea 4: Límites de la variable trazada.

MINVARG MAXVARG

Línea 5: Velocidad máxima a trazar.

MAXVELOC

Línea 6: Transparencia.

USEBACKIMAGE

Línea 7: Transparencia.

TRANSP

Línea 8: Imagen aérea de fondo.

IMAGEFILE

Línea 9: Archivo mundial de 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. Ver comentario 1.
- **IAXES:** I; 0,1; -; Variable para controlar el clima para trazar ejes.

1. No trace los ejes X e Y.
2. Trazar los ejes X e Y.

- **IDXF:** I; 0,1; -; Variable para controlar la salida del campo de velocidad en formato DXF CAD.

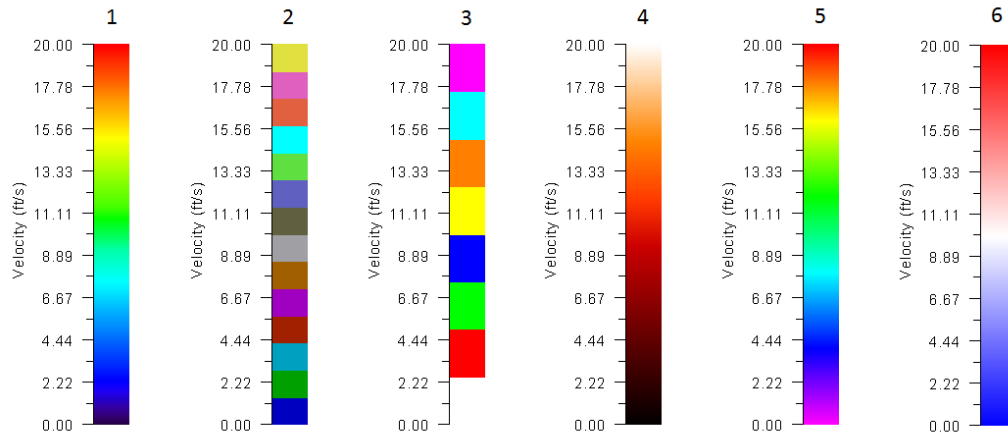
1. No genere malla DXF ni campo de velocidad.
2. Cree archivos DXF de campo de velocidad y malla para cada tiempo de salida.

- **IGRAPHCODE:** I; 100, 101, 102, 103, 110, 201, 202, 203, 204, 600-610; -; Parámetro para indicar el tipo de gráfico a mostrar mientras se ejecuta el programa.
1. Trazar el campo de velocidades usando vectores en negro.
 2. Trazar el campo de velocidades usando vectores en negro sobre profundidades.
 3. Trazar el campo de velocidades sobre las elevaciones del lecho.
 4. Trazar elevaciones de agua.
 5. Trazar el campo de velocidades usando vectores en color.
 6. Trazar profundidades.
 7. Trazar elevaciones de lecho.
 8. Trazar el campo de velocidades sobre las elevaciones del agua.
 9. Trazar los cambios de elevación del lecho.
 10. Trazar sedimentos en suspensión o concentraciones de contaminantes.
- **IGRAPHFILES:** I; 0,1; -; Variable para controlar si se generan archivos gráficos.
1. No genere archivos gráficos.
 2. Generar archivos gráficos.
- **IMAGEFILE:** S; -; -; Nombre del archivo de imagen aérea, incluida la ruta y la extensión. Los formatos admitidos incluyen y. Se incluirán otros formatos de archivos gráficos en próximas versiones.
 - **IMAGEWF:** S; -; -; Nombre del archivo world de imágenes aéreas, incluida la ruta y la extensión. El formato de archivo world debe seguir las especificaciones de ESRI. Ver comentario 2.
 - **IVSF:** I; 0,1; -; Variable para controlar la salida del campo de velocidad en un archivo que permite crear archivos de forma.
1. No envíe el campo de velocidad SF.
 2. Cree archivos SF del campo de velocidad para cada tiempo de salida. Ver comentario 3.
- **MAXVELOC:** R; -; m/s o ft/s; Utilice esta variable para controlar la velocidad máxima mostrada en los gráficos vectoriales.
 - Si MAXVELOC = 0, se trazará todo el rango de velocidad.
 - Si MAXVELOC > 0, definirá la velocidad máxima a mostrar.
 - **MINVARG, MAXVARG:** R; -; -; Estas variables definen los valores mínimo y máximo a mostrar de la variable seleccionada. Si es igual a 0, se mostrará el rango máximo.
 - **SF_MULT:** R; > 1; -; Variable para controlar la escala del vector de velocidad. Utilice 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 trazados dinámicos durante la ejecución del modelo. Si el valor es = 1, el gráfico 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 modelado.

15.23.2.2 Comentarios para el archivo .PLT

1. **COLORSCHEME** define la paleta de colores que se utilizará para todos los gráficos. Las paletas disponibles se muestran en esta figura:



Paletas de colores.

2. El significado genérico de los parámetros del archivo world es:
 - Línea 1: A: tamaño de píxel en la dirección x, en unidades de 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 de píxel en la dirección y, en unidades de 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 de píxel en la dirección x, la rotación en los ejes x e y es 0,00, el tamaño de píxel en la dirección y es 2,05 (se muestra 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 admitidos y sus correspondientes extensiones de archivo mundiales.

15.23.3 Datos para la salida del resultado del perfil: .PROFILES

Utilice este archivo para proporcionar perfiles (polilíneas) a lo largo de los cuales se generarán los resultados.

Línea 1: Número de perfiles.

NPROFILES

NPROFILES grupo de archivos que incluye: ID de perfil, número de vértices en el perfil I, número de intervalos para dividir cada perfil y coordenadas para cada vértice en la polilínea.

PROFILEID

NVERTICES_PR(I) ND_PR

X_PR(I), Y_PR(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 primer ID de perfil es: PerfilA que se define con una polilínea de 2 vértices y se dividirá en 10 segmentos.

- **ND_PR:** I; > 2; -; Intervalos para dividir cada subsegmento de perfil entre vértices. Los resultados se informarán en cada intervalo.
- **NPROFILES:** I; > 0; -; Número de perfiles.
- **NVERTICES_PR(I):** I; > 1; -; Número de vértices en cada perfil.
- **PROFILEID:** S; < 26; -; Nombre del perfil. Debe tener menos de 26 caracteres y no debe contener espacios en blanco.
- **X_PR(I,J), Y_PR(I,J):** R; -; m o ft; Coordenadas de cada vértice J del perfil I.

15.23.4 Datos de sección transversal para el archivo de salida de resultados: .XSECS

Las secciones transversales se utilizan para generar resultados numéricos en líneas definidas por el usuario en la malla.

Línea 1: Número de secciones transversales.

NCROSS_SECTIONS

NCROSS_SECTIONS grupos de líneas que contienen el ID de la sección transversal, el número de vértices que definen la sección transversal (siempre igual a 2), el número de intervalos para dividir la sección transversal y la lista de coordenadas 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

```
3
CrossSectionA
2 40
800500.45 306895.63
799095.07 307457.34
CrossSectionB
2 40
800492.17 307163.36
799171.99 307594.56
CrossSectionC
2 40
800449.99 307404.31
799223.97 307690.20
```

Este archivo indica que hay 3 secciones transversales. El primero tiene ID = CrossSectionA y estará dividido en 40 segmentos.

- **NCROSS_SECTIONS:** I; > 0; -; Número de secciones transversales.
- **ND_CS:** I; > 2; -; La sección transversal se dividirá en segmentos ND_CS. Los resultados se informarán en cada segmento. Ver 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 que este valor siempre debe ser 2.
- **X1_CS, Y1_CS, X2_CS, Y2_CS:** R; -; m o ft; Coordenadas del punto 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 usando 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 las descargas de la sección transversal calculadas pueden tener grandes errores.

15.24 Datos de elevación

15.24.1 Datos X Y Z con encabezado

Estos archivos contienen datos dispersos en el formato adecuado para importarlos en un editor de texto o programa de hoja de cálculo. Por ejemplo, la capa de datos *BedElevations*. Suele tener extensión, pero puede tener cualquier otra extensión de archivo siempre que el formato sea el aquí descrito. Cada punto se identifica por sus coordenadas X e Y y el valor de elevación para esa coordenada.

Línea 1: Número de puntos y número de parámetros por punto (encabezado)

NUMBER_OF_DATA_POINTS

NUMBER_OF_DATA_POINTS líneas con X, Y y datos de 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. Ver comentario 1.
- **Y:** R; -; m o ft; Coordenada Y de cada punto de elevación. Ver comentario 1.
- **P:** R; -; m o ft; Valor del parámetro. Ver comentario 2.

15.24.1.2 Comentarios para el archivo de datos .EXP

1. Las coordenadas X e Y se pueden dar en metros o pies, según las unidades que se utilicen en el proyecto. El sistema de coordenadas siempre debe corresponder a la proyección plana. HydroBID Flood no admite coordenadas geográficas en formato de latitud/longitud.

2. Los valores de elevación deben darse en las mismas unidades que las coordenadas correspondientes.

15.25 Archivos de datos de condiciones de contorno

15.25.1 Archivos de condición de límite 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: Numere los puntos en la serie de datos.

NDATA

Líneas 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 de archivo de condiciones de límites para una serie temporal 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 en la serie de datos.
- **TIME:** R; > 0; h; Tiempo en horas. El intervalo de tiempo es arbitrario.
- **VARIABLE:** R; -; -; Representa la elevación o descarga de la superficie del agua, según la condición de contorno.

15.25.2 Archivos de condiciones de límites de dos variables

Este formato se aplica a los siguientes archivos de datos:

- Tiempo frente a Q de descarga y elevación de la superficie del agua (BCTYPE = 5)
- Tiempo frente a Q de descarga de agua y Qs de descarga de sedimento (BCTYPE = 26)

Línea 1: Numere los puntos en la serie de datos.

NDATA

Líneas NDATA que contienen 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 de archivo de condiciones de límites de dos variables

El siguiente ejemplo muestra un archivo para BCTYPE=5 donde se dan 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 en la serie de datos.
- **TIME:** R; > 0; h; Tiempo en horas. El intervalo de tiempo es arbitrario.
- **VARIABLE1:** R; -; -; Representa los componentes de elevación de la superficie del agua, descarga y velocidad U o V dependiendo de la condición de contorno.
- **VARIABLE2:** R; -; -; Representa los componentes de elevación de la superficie del agua, descarga y velocidad U o V dependiendo de la condición de contorno.

15.25.3 Archivos de condiciones de límites de múltiples variables

Este formato se aplica al siguiente archivo de datos:

- Tiempo vs Q descarga de agua y Qs descarga de sedimento (BCTYPE = 26)

Línea 1: Numere los puntos en la serie de datos.

NDATA

Líneas NDATA que contienen tiempo y dos valores.

TIME(I) VARIABLE1(I) VARIABLE2(I) ... VARIABLEN(I)

Donde VARIABLE1(I) ... VARIABLEN(I) depende del tipo de condición de contorno de la siguiente manera:

- **Q:** Qs

15.25.3.1 Ejemplo de archivo de condiciones de límites de múltiples variables

El siguiente ejemplo muestra un archivo para BCTYPE=26 donde se dan 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 en la serie de datos.
- **TIME:** R; > 0; h; Tiempo en horas. El intervalo de tiempo es arbitrario.
- **VARIABLE1:** R; -; -; Representa Descarga de Agua.
- **VARIABLE2..N:** R; -; -; Representa la descarga de sedimentos para la fracción dada.

15.25.4 Archivos de datos de descarga por etapas

Este formato se aplica a la etapa (elevación de la superficie del agua) frente a la tabla de descarga utilizada para BCTYPE = 9 y 19.

Línea 1: Numere los puntos en la serie de datos.

NDATA

Líneas NDATA que contienen etapa y descarga.

STAGE(I) Q(I)

Donde STAGE(I) es la elevación de la superficie del agua y Q(I) es el caudal correspondiente.

15.25.4.1 Ejemplo de archivo de condición de límite de etapa-descarga

El siguiente ejemplo muestra una tabla de clasificación de etapa-descarga donde NDATA es 21 y hay 21 líneas con pares de etapa 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 en el archivo de datos.
- **STAGE:** R; > 0; m o ft; Elevación de la superficie del agua.
- **Q:** R; > 0; m³/s o ft³/s; Descarga de agua.

15.25.5 Archivos de datos de descarga en profundidad de alcantarillas

Este formato se aplica a la tabla de profundidad frente a descarga de la alcantarilla.

Línea 1: Numere los puntos en la serie de datos.

NDATA

Líneas NDATA que contienen profundidad y descarga.

DEPTH(I) Q(I)

Donde PROFUNDIDAD(I) es la profundidad correspondiente al caudal Q(I).

15.25.5.1 Ejemplo de archivo de descarga de profundidad de alcantarilla

El siguiente ejemplo muestra una tabla de clasificación de descarga en función de la profundidad 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 en el archivo de datos.
- **DEPTH:** R; > 0; m o ft; Profundidad del agua.
- **Q:** R; > 0; m³/s o ft³/s; Descarga de agua.

16 | Referencia del archivo de salida

HydroBID Flood genera resultados en numerosos archivos de texto ASCII. Estos archivos se pueden abrir fácilmente con cualquier editor de texto e importar a QGIS u otro software SIG para su visualización y análisis. HydroBID Flood siempre crea archivos ASCII de salida en unidades inglesas y métricas, según las unidades proporcionadas en los archivos de datos.

16.1 Descripción general del archivo de salida

Las siguientes tablas resumen los archivos de salida generados por HydroBID Flood:

- **Lista de tiempos de salida:** informa de los tiempos de salida de los archivos de resultados.
- **Parámetros de control de ejecución, componentes utilizados, etc.:** hacen eco de los datos de entrada leídos de los archivos, incluidos los parámetros de control del modelado, los datos de malla y las condiciones de contorno. Para cada intervalo de informe también registran los caudales y las velocidades de entrada y salida; hay un archivo en unidades métricas y otro en unidades inglesas.
- **Archivos de salida del modelo nativo:** informan de los resultados del modelo en las celdas para cada intervalo de informe.
- **Parámetros de control de ejecución, componentes utilizados, etc.:** hacen eco de los datos de entrada leídos de los archivos, incluidos los parámetros de control del modelado, los datos de malla y las condiciones de contorno. Para cada intervalo de informe también registran los caudales y las velocidades de entrada y salida; hay un archivo en unidades métricas y otro en unidades inglesas.
- **Información de malla de celdas triangulares:** estos archivos proporcionan información completa sobre la malla de celdas triangulares; hay un archivo en unidades métricas y otro en unidades inglesas.
- **Resultados del progreso de la ejecución:** este archivo informa, para cada intervalo de salida, del tiempo de cómputo, el paso de tiempo promedio, los caudales 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:** para cada intervalo de salida, los módulos máximos de velocidad nodal y las profundidades se escriben en archivos en unidades métricas e inglesas.

- **Series temporales en puntos de observación:** estos archivos informan de las series temporales de resultados para la celda donde se encuentra el punto. Los resultados incluyen velocidades, profundidades, elevaciones de la superficie del agua y del lecho, cambios de elevación del lecho, condiciones de humedad y sequedad y el número de Froude. El formato del nombre del archivo depende de las unidades métricas o inglesas y del nombre del punto de observación.
- **Balance de masa:** informa de los caudales y volúmenes totales de entrada y salida para cada intervalo de salida.
- **Hot start:** se genera en el modelo HydroBID Flood para reiniciar una simulación a partir de resultados calculados previamente. El archivo contiene el tiempo de reinicio en segundos, el código de tiempo de salida de origen y el índice de salida de reinicio.
- **Archivos de salida del modelo nativo:** informa de los resultados del modelo en las celdas para cada intervalo de informe.
- **Archivos de salida del modelo nativo para el módulo MT:** informan 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:** 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 los caudales de agua y sedimentos, en unidades métricas e inglesas.
- **Hidrogramas de secciones transversales:** informan de una tabla de hidrograma para cada sección transversal. Un archivo contiene el hidrograma del agua y otro el hidrograma del flujo de sedimentos para cada sección transversal. Consulte el comentario 1.
- **Salida de perfiles:** para cada intervalo de salida y para un conjunto 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, en unidades métricas e inglesas.
- **Alcantarillas:** genera el caudal en cada alcantarilla para cada intervalo de informe. El formato del nombre de archivo es el siguiente, 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 el siguiente, donde IrtID es el texto proporcionado por el usuario para identificar la tabla de clasificación interna.
- **Vertederos:** informan de los resultados de los vertederos; un archivo está en unidades métricas y WEIRE en unidades inglesas.
- **Resultados generales:** cuando se selecciona la casilla de verificación *Create Graphic Output Files* en el *Graphic Output Panel*, HydroBID Flood genera archivos que informan de las velocidades, profundidades, elevaciones de la superficie del agua y del lecho, cambios en la elevación del lecho, condición húmedo-seco, número de Froude y caudal de transporte de

sedimentos para cada intervalo de salida. Estos archivos pueden utilizarse con software de terceros, incluido ParaView, para generar gráficos de alta calidad de los resultados de Hydro-BID Flood. ParaView (<https://www.paraview.org>) es una aplicación de código abierto y multiplataforma para el análisis y la visualización de datos. Sus usuarios pueden crear rápidamente visualizaciones para analizar los 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.

- **Distribución espacial de los resultados para cada intervalo de informe:** para cada intervalo de salida se escriben en un archivo 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 húmedo-seco, el número de Froude, los flujos de transporte de sedimentos, etc. Estos archivos se utilizan para preparar mapas de resultados frente al tiempo.
- **Distribución espacial de las concentraciones de contaminantes para cada intervalo de informe:** para cada intervalo de salida se escriben en un archivo las concentraciones de las celdas. Estos archivos se utilizan para preparar mapas de concentración de contaminantes frente al tiempo.
- **Distribución espacial de las concentraciones de sedimentos para cada intervalo de informe:** para cada intervalo de salida se escriben en un archivo las concentraciones de sedimentos de las celdas. Estos archivos se utilizan para preparar mapas de concentración de sedimentos frente al tiempo.
- **Coordenadas y propiedades de las partículas de aceite para cada intervalo de informe:** para cada intervalo de salida se escriben en un archivo las coordenadas, el volumen, la densidad, la viscosidad y el estado de las partículas de aceite. Estos archivos se utilizan para preparar mapas de propiedades del aceite frente al tiempo.
- **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 Sistema de Información Geográfica QGIS para generar mapas. Los archivos se denominan de la siguiente manera. Consulte el comentario 1.
- **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 transferir los datos sin problemas a QGIS. Los archivos se denominan de la siguiente manera. Consulte el comentario 1.
- **Archivo de valores de intensidad del peligro en celdas:** estos archivos ASCII informan de los valores de intensidad del peligro para diversas clasificaciones utilizadas en distintos países. Incluyen la clasificación de la Oficina de Reclamación de los Estados Unidos, métodos suizos y criterios utilizados en Austria y el Reino Unido, y permiten transferir los datos sin problemas a QGIS para preparar mapas. Los archivos se denominan de la siguiente manera. Consulte el comentario 1.

16.1.0.1 Comentarios para archivos de salida

En el modelo HydroBID Flood, estos archivos se generan durante el paso final, después de que el modelo completa la ejecución, y al realizar el posprocesamiento mediante el botón *Plot HydroBID Flood results* del panel *Data Input Program Graphic Output Options*.

16.1.1 Archivos esenciales necesarios para generar mapas, gráficos y animaciones

Como se desprende claramente de la lista anterior, HydroBID Flood crea un número considerable de archivos que contienen resultados del modelo, algunos de los cuales pueden ser enormes en proyectos grandes. Sin embargo, solo se necesita un subconjunto de estos archivos para crear gráficos en HydroBID Flood. Saber qué archivos de salida son necesarios resulta práctico cuando hay que reducir el número de archivos que se transfieren a un equipo distinto del utilizado para las simulaciones. Por ejemplo, si se utiliza un servicio en la nube para ejecutar las simulaciones, el usuario puede necesitar descargar los resultados a un equipo local. Descargar únicamente los archivos esenciales para el posprocesamiento ayuda a reducir los costes de conexión.

Esta sección resume los archivos esenciales para crear mapas, gráficos y animaciones en un proyecto de HydroBID Flood. Se supone que el proyecto existente ya contiene las capas necesarias para generar los archivos de HydroBID Flood, como *Trimesh*, etc.

La siguiente tabla presenta los distintos gráficos y animaciones que se pueden crear con HydroBID Flood y los archivos de salida necesarios para cada uno.

Nota

Estos son los archivos nativos de resultados del modelo, que siempre están en unidades del SI. Aunque no se utilizan directamente para la salida gráfica, pueden ayudar a regenerar los archivos de posprocesamiento si se eliminan los descritos en esta sección.

Mapas de resultados frente al tiempo

- 1.
- 2.
- 3.

Mapas de concentración de contaminantes frente al tiempo

- 1.
- 2.

Mapas de concentración de sedimentos frente al tiempo

- 1.
- 2.

Mapas de concentración, densidad, viscosidad y esfuerzo de fluencia del fluido frente al tiempo

- 1.

2.

Mapas y animaciones temporales de la ubicación y propiedades del aceite o plástico para el modelo OilFlow2D

1.

2.

3.

Mapas de resultados máximos

1.

Mapas de tiempo hasta profundidad

1.

Mapas de intensidad del peligro

1.

Animaciones, secciones transversales y perfiles

1.

2.

3.

4. para los módulos PL y WQ.

5. para el módulo ST.

6. para el módulo MT.

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 archivo .outfilesoilw del modelo Oil Spill on Water

Este archivo incluye una lista de tiempos correspondientes a cada intervalo de salida generado al ejecutar el modelo de derrame de petróleo en 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, archivos .outi y .oute

Estos archivos replican los datos de entrada leídos de los archivos, incluidos los parámetros de control del modelado, los datos de malla, las condiciones de contorno y los caudales y velocidades de entrada y salida para cada intervalo de salida. Hay un archivo en unidades métricas y otro en unidades inglesas. Parte de un resultado 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
=====
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 y métricas de la malla, archivos .meshouti y .meshoute

Los datos de la malla se escriben en los archivos .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.

- **Number of cells:** Número total de celdas en la malla
- **Number of nodes:** 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 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 medio 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 existen celdas agudas, el modelo muestra un mensaje de error y no puede ejecutarse. A continuación se muestra un extracto 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 extensión .rout. Para cada intervalo de salida, estos archivos informan del tiempo de cómputo, el paso de tiempo medio y, para cada contorno abierto, del caudal de entrada (positivo) o salida (negativo) (m^2/s o ft^3/s), el error de conservación de volumen (%), el caudal volumétrico de sedimentos (m^2/s o ft^3/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.      3.1250000E-02
FLOOD HAZARD AT CELLS FILES CREATED      1.5625000E-02
PROGRAM EXECUTION AND OUTPUT PROCESS COMPLETED.
```

16.2.6 Archivos tabulares de valores máximos .maxi y .maxe

Estos archivos informan de 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. Un

archivo está en unidades métricas y otro 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 profundidad y velocidad; ft²/s; m²/s
- **7:** SHEAR STRESS; esfuerzo cortante máximo; lb/ft²; 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 profundidad y velocidad; ft²/s; m²/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/ft²; Pa
- **11:** IMPACT FORCE; fuerza unitaria máxima de impacto por unidad de ancho; lb/ft; N/m

A continuación se muestra un archivo de salida 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: 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 de las series temporales de resultados en los puntos de observación. El programa encuentra la celda donde se encuentra cada punto y escribe la serie temporal de las variables siguientes:

- **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; caudal volumétrico de sedimentos por unidad de ancho en la dirección x; ft²/s; m²/s
- **12:** QSY; caudal volumétrico de sedimentos por unidad de ancho en la dirección y; ft²/s; m²/s
- **13:** QS; magnitud del caudal volumétrico de sedimentos $Q_s = \sqrt{Q_{sx}^2 + Q_{sy}^2}$; ft²/s; m²/s

El nombre de archivo para cada celda sigue el formato correspondiente a las unidades métricas o inglesas.

El nombre del punto de observación se incluye en el nombre de archivo. A continuación se muestra un ejemplo de un archivo de resultados de series temporales.


```

=====
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, contiene los valores del último informe escrito por el modelo. El código de tiempo de salida de origen selecciona el archivo utilizado como condición inicial, 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 al reiniciar 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
```

HydroBID Flood puede reiniciarse desde cualquier tiempo de informe existente leyendo las condiciones iniciales del archivo cell_time_DDDD_HH_MM_SS.textout identificado en 2 binitialized . hotstart. Para reiniciar desde un tiempo distinto 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) con un intervalo de informe de 1 hora, utilice:

```
10800  0000_03_00_00  3
```

La opción **Hot start** es útil para establecer condiciones iniciales comunes a una serie de simulaciones, como distintos períodos de retorno. Por ejemplo, ejecute el modelo con un caudal de

entrada constante hasta que converja al estado estacionario. Para comenzar un escenario nuevo en el tiempo cero utilizando `cell_time_0000_24_00_00.textout` como condición inicial, conserve su código de tiempo de salida de origen y establezca `TIME` e `IDX` en 0:

```
0 0000_24_00_00 0
```

Cuando HydroBID Flood 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 temporal 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 HydroBID Flood, puede ser necesario definir las elevaciones iniciales de la presa y del depósito de relaves y, al mismo tiempo, tener en cuenta un caudal fluvial existente aguas abajo de la presa. En esta situación, la simulación de la falla de la presa debe comenzar solo después de que se haya estabilizado el caudal inicial del río. Siga estos pasos:

1. Ejecute una simulación base inicial que represente el caudal 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. Deshabilite las condiciones iniciales del depósito, como *Read initial water elevs. from FED file*, porque esta simulación solo debe establecer el caudal 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 usando 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 idénticas 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 de los polígonos *initialWSE* especificados.

Nota: Este procedimiento no funciona cuando se selecciona la opción **Hotstart**.

16.2.10 Archivo de salida de balance de masa

El archivo informa del balance global de masa y volumen durante toda la simulación. Su contenido varía según el módulo utilizado, de acuerdo con el formato siguiente:

HydroBID Flood–Hidrodinámica

Columna 1: Hora

Columna 2: Entrada de volumen de agua acumulado

Columna 3: Salida de volumen de agua acumulado

Columna 4: Volumen de agua interno

Columna 5: Volumen acumulado de agua de lluvia/evaporación

Columna 6: Volumen de agua de infiltración acumulado

HydroBID Flood–PL

Columna 1: Hora

Columna 2: Entrada de volumen de agua acumulado

Columna 3: Salida de volumen de agua acumulado

Columna 4: Volumen de agua interno

Columna 5: Volumen acumulado de agua de lluvia/evaporación

Columna 6: Volumen de agua de infiltración acumulado

Columna 7: Entrada de volumen de soluto_1 acumulado

Columna 8: Salida de volumen de soluto_1 acumulado

Columna 9: volumen interno de soluto_1

Columna 10: volumen acumulado de captación de soluto_1

: Columna 11+k: entrada acumulada de volumen de soluto_k

Columna 12+k: salida acumulada de volumen de soluto_k

Columna 13+k: volumen interno de soluto_k

Columna 14+k: volumen acumulado de captación de soluto_k

HydroBID Flood–WQ

Columna 1: Hora

Columna 2: Entrada de volumen de agua acumulado

Columna 3: Salida de volumen de agua acumulado

Columna 4: Volumen de agua interno

Columna 5: Volumen acumulado de agua de lluvia/evaporación

Columna 6: Volumen de agua de infiltración acumulado

Columna 7: Entrada de volumen de soluto_1 acumulado

Columna 8: Salida de volumen de soluto_1 acumulado

Columna 9: volumen interno de soluto_1

Columna 10: volumen acumulado de captación de soluto_1

: Columna 11+k: entrada acumulada de volumen de soluto_k

Columna 12+k: salida acumulada de volumen de soluto_k

Columna 13+k: volumen interno de soluto_k

Columna 14+k: volumen acumulado de captación de soluto_k

HydroBID Flood–UD

Columna 1: Hora

Columna 2: Entrada de volumen de agua acumulado

Columna 3: Salida de volumen de agua acumulado

Columna 4: Volumen de agua interno

Columna 5: Volumen acumulado de agua de lluvia/evaporación

Columna 6: Volumen de agua de infiltración acumulado

HydroBID Flood–ST Transporte de carga de fondo

Columna 1: Hora

Columna 2: Entrada de volumen de agua acumulado

Columna 3: Salida de volumen de agua acumulado

Columna 4: Volumen de agua interno

Columna 5: Volumen acumulado de agua de lluvia/evaporación

Columna 6: Volumen de agua de infiltración acumulado

Columna 7: Entrada de volumen sólido acumulado

Columna 8: Salida de volumen sólido acumulado

Columna 9: Volumen sólido interno

Columna 10: *NULL*

HydroBID Flood–ST Transporte en suspensión

Columna 1: Hora

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 de lluvia/evaporación

Columna 6: Volumen de agua de infiltración acumulado

Columna 7: Entrada de volumen sólido acumulado

Columna 8: Salida de volumen sólido acumulado

Columna 9: Volumen sólido interno

Columna 10: volumen acumulado de agua+sólidos intercambiado con el lecho

HydroBID Flood–MT

Columna 1: Hora

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: Hora

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 captado/evaporado

Columna 6: volumen acumulado de aceite infiltrado

OilFlow2D-HT

Columna 1: Hora

Columna 2: Entrada de volumen de petróleo acumulado

Columna 3: Entrada de masa de petróleo acumulada

Columna 4: Salida de volumen de petróleo acumulado

Columna 5: Salida de masa de petróleo acumulada

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 los booms en el modelo de derrame de petróleo en agua OilFlow2D, el modelo crea un archivo de salida que informa de los volúmenes de aceite o plástico, en bbl y m³, retenidos por cada boom y para cada intervalo de salida:

OIL/PLASTIC BOOM RETENTION BALANCE (BBL and m3)

TIME (hr)	BOOM_1 (bbl)	BOOM_2 (bbl)	BOOM_1 (m3)	BOOM_2 (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, HydroBID Flood crea un archivo de salida cuyo nombre incluye culvertID, el texto proporcionado por el usuario para identificarla. El informe incluye el caudal de cada intervalo de informe y las elevaciones de la superficie del agua (WSEL1, WSEL2) en cada extremo, 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 tabla de clasificación interna, HydroBID Flood crea un archivo de salida cuyo nombre incluye IrtID, el texto proporcionado por el usuario para identificarla. El informe incluye el caudal de 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 de los resultados de los vertederos para cada intervalo de salida. Uno utiliza la extensión correspondiente a las unidades métricas y otro la correspondiente a las unidades inglesas. La salida incluye la información siguiente:

- **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
- **Distancia:** Longitud del borde
- **P:** Descarga por borde

A continuación se muestra un formato de archivo de salida típico 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 (m)	WSE2 (m)	D1 (m)	D2 (m)	Distance (m)	Q (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 genera archivos con las extensiones .xseci y .xsece, que informan de los resultados a lo largo de las secciones transversales proporcionadas por el usuario. Para cada intervalo de salida y 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 media en profundidad, el número de Froude y el caudal volumétrico de sedimentos por unidad de ancho, en unidades métricas e 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.

```

Cuando se ejecuta únicamente la hidrodinámica, los archivos .xsece y .xseci muestran el caudal de agua de la sección transversal. Cuando se ejecuta el transporte de sedimentos, además del caudal de agua, estos archivos informan del caudal total de sedimentos en ft³/s o m³/s.

16.4.2 Archivos de hidrogramas de secciones transversales .xsech y .xsecsed

Estos archivos solo se generan durante el posprocesamiento mediante el botón *Plot HydroBID Flood results* del panel *Graphic Output Options*. Al utilizar la opción *Output results for cross sections*, el modelo genera archivos con las extensiones .xsech y .xsecsed (si se utiliza el componente de transporte de sedimentos), que informan de una tabla de hidrograma para cada sección transversal. Un archivo path.xsech 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 genera archivos con las extensiones .prfi y .prfe, que informan de los resultados a lo largo de las polilíneas proporcionadas por el usuario. Para cada intervalo de salida y para el conjunto de puntos 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 media 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: Perfill

ELEM	DISTANCE (m)	BEDEL (m)	DEPTH (m)	WSEL (m)	VELOCITY (m/s)	FROUDE
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 el posprocesamiento en QGIS

16.5.1 Resultados generales en las celdas

Estos archivos ASCII permiten transferir los resultados sin problemas al Sistema de Información Geográfica QGIS. Utilizan la extensión .textout y se denominan de la siguiente manera:

Donde dddd son días, hh son horas, mm son minutos y ss son segundos. Por ejemplo, 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 resultados para cada celda de la malla de celdas triangulares, como se muestra:

- **Componente de velocidad en la dirección x U:** ft/s; m/s
- **2:** componente de velocidad en la 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 la dirección x: Q_{sx} ; ft²/s; m²/s
- **11:** caudal volumétrico de sedimentos por unidad de ancho en la dirección y: Q_{sy} ; ft²/s; m²/s
- **12:** magnitud del caudal volumétrico de sedimentos: $Q_s \sqrt{Q_{sx}^2 + Q_{sy}^2}$; ft²/s; m²/s
- **13:** esfuerzo cortante del lecho*; lb/ft²; Pa $\tau = \gamma H S_f = \gamma (U n / k)^2 / H^{1/3}$
- **14:** volumen acumulado de lluvia; ft³; m³
- **15:** volumen acumulado de infiltración; ft³; m³
- **16:** Manning's n; -; -

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 aceite para cada celda cuando el usuario selecciona la opción para calcular la transferencia de calor en el modelo OilFlow2D. Utilizan la extensión .textout y se denominan de la siguiente manera:

Donde dddd son días, hh son horas, mm son minutos y ss son segundos. Por ejemplo, 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/m³ o lb/ft³
- **3:** viscosidad; Pa.s o lb.s/in²
- **4:** esfuerzo de fluencia; Pa o lb/in²

El 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 ($2 \times \text{NSSNFRAC} + 1$). 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
- **D₅₀:** 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
- **D₅₀:** 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

- ρ : Densidad del fluido; lb/ft³ o kg/m³
- μ : Viscosidad dinámica del fluido; lb.s/in² o Pa.s
- **Ys**: Esfuerzo de fluencia; lb/in² o Pa
- **H_{dep}**: 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
- **D₅₀**: 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_.textout* (unidades métricas), *Par_time_eng.textout* (unidades inglesas) o *Par_time_.textout* (salida sin unidades).

identifica el derrame y se codifica como DDDD_HH_MM_SS. Por ejemplo, *Par_time_metric_01_0001_12_01_34.tex* 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; m³ o ft³
- **8**: Densidad de la partícula; Gravedad específica
- **9**: Viscosidad de la partícula; cPoise (0.001 Pa.s) o (lb. s/ft²)
- **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 Sistema de Información Geográfica QGIS. Este archivo utiliza la extensión .textout y se denomina _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 .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 m³.

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      IN MESH  OUT MESH  ON SHORE  ON BOTTOM  TOTAL
(h)       (m3)      (m3)      (m3)      (m3)      (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 Sistema de Información Geográfica QGIS. Estos archivos utilizan la extensión .textout y se denominan `_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 módulo de transporte de sedimentos. 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; ft²/s; m²/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/ft²; 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 Sistema de Información Geográfica QGIS. Los archivos de tiempo hasta la profundidad tienen el siguiente nombre: `_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 1 ft, 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 Sistema de Información Geográfica QGIS. Estos archivos utilizan la extensión .textout y se denominan _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 HydroBID Flood 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 HydroBID Flood. 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 HydroBID Flood

17.1 Ejecución automatizada por lotes de simulaciones del modelo

Puede ejecutar varias simulaciones de HydroBID Flood mediante scripts por lotes. Al controlar las ejecuciones del modelo mediante scripts por lotes, se recomienda activar la opción de salida *Automatic Close of Model Windows* en la interfaz DIP para garantizar una ejecución ininterrumpida. Hay dos métodos disponibles para ejecutar varias simulaciones mediante scripts por lotes:

- Usar un script de MS-DOS guardado 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"
```

```
HydroBIDFlood "D:\HydroBIDFlood\Projects\ProjectA\Scenario1\Run1" > "D:\HydroBIDFlood\
```

```
HydroBIDFlood "D:\HydroBIDFlood\Projects\ProjectA\Scenario2\Run2" > "D:\HydroBIDFlood\
```

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\MUDTutoria",
    r"C:\Users\hydronia\Documents\RiverFlow2D_QGIS\ExampleProjects\MUDTutoria",
]

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)
```