

OilFlow2D Manual de Referencia del Motor

Model for Oil Spills on Water and Land

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	ix
1 Introducción	1
1.1 Resumen de las funciones y capacidades de OilFlow2D	2
1.1.1 Capacidad principal	2
1.1.2 Generador de mallas	2
1.1.3 Motor numérico	3
1.1.4 Componentes hidráulicos	3
1.1.5 Formatos de datos de entrada	3
1.1.6 Condiciones iniciales	4
1.1.7 Condiciones de contorno	4
1.1.8 Opciones de salida	4
1.1.9 Salida de resultados para valores máximos	4
1.1.10 Módulo de transporte de contaminantes PL	4
2 Instalación y activación de OilFlow2D	6
2.1 Requisitos de hardware	6
2.2 Instalación del software	6
2.3 Activación del software	7
2.3.1 Activación Standalone	7
2.3.2 Instalación del servidor de red	8
2.3.3 Instalación del cliente de red	10
2.4 Habilitar los complementos de Hydronia en QGIS	12
2.4.1 Habilitar el complemento OilFlow2D (pre-v10 o independiente)	12
2.4.2 Habilitar macros en QGIS	13
2.5 Solución de problemas	14
2.5.1 Encontrar la clave de licencia	14
2.5.2 Ver quién utiliza el software en una instalación de red	14
2.5.3 ERROR 641: "You have reached the limit on the maximum number of simultaneous users of this program."	15
2.5.4 ERROR 659: "This program is configured for network installation only. It cannot be installed as a standalone system."	15
2.5.5 ERROR 660: "This program is configured for standalone installation only. It cannot be installed as a network system"	16
2.5.6 ERROR 739: "This program has been installed or copied too many times."	16
2.6 Documentación de OilFlow2D	16

2.7	Soporte técnico de OilFlow2D	16
2.8	Tutoriales de OilFlow2D	17
3	Descripción general de OilFlow2D	18
4	Generación de mallas en OilFlow2D	22
4.1	Control del tamaño de celda mediante Domain Outline	23
4.2	Control del tamaño de celda mediante polilíneas en la capa MeshDensityLine	24
4.3	Control del tamaño de celda mediante polígonos en la capa MeshDensityPolygon	24
4.4	Control del tamaño de celda mediante polilíneas en la capa MeshBreakLine	25
4.5	Condiciones de contorno	26
4.6	Datos espaciales de la malla	27
4.6.1	Manning's n	27
4.7	Funciones de la barra de herramientas de OilFlow2D	28
4.7.1	Nuevo proyecto de OilFlow2D	29
4.7.2	Generar TriMesh	30
4.7.3	Exportar archivos para OilFlow2D	30
4.7.4	Mapas	30
4.7.5	Animaciones	30
4.7.6	Secciones transversales	30
4.7.7	Herramientas	30
5	Modelo de derrame de petróleo sobre terreno	35
5.1	Supuestos del modelo de flujo viscoso	35
5.2	Ecuaciones de flujo considerando variaciones de temperatura prescritas	36
5.3	Ecuaciones considerando la transferencia de calor	37
5.3.1	Propiedades del fluido y leyes de fricción	37
5.3.2	Término fuente de temperatura y mecanismos de transferencia de calor	38
5.4	Retención de petróleo	39
5.5	Ecuaciones del hidrograma de derrame por rotura de tubería	40
5.5.1	Altura inicial estacionaria de la tubería	40
5.5.2	Flujo de fuga aguas arriba	41
5.5.3	Drenaje gravitatorio aguas abajo	42
5.5.4	Hidrograma de fuente combinado	43
5.6	Solución numérica de volúmenes finitos	43
5.6.1	Optimizaciones numéricas	47
5.6.2	Región de estabilidad	48
5.7	Condiciones de contorno abiertas	48
5.7.1	Tipos de condiciones de contorno de variable única (BCTYPE 1 y 6)	50
5.7.2	Tabla de aforo de caudal (BCTYPE 9)	51
5.7.3	Contornos abiertos de condición "Free" (BCTYPE 10, 11)	51
5.7.4	Condición de contorno de flujo uniforme (BCTYPE 12)	52
5.7.5	Implementación numérica de los contornos abiertos	52
5.7.6	Contornos cerrados	58
5.8	Modelación de celdas secas/mojadas	59

5.8.1	Definiciones de celdas basadas en condiciones secas y mojadas	59
5.9	Conservación del volumen	60
5.10	Coeficientes de rugosidad de Manning's n	61
6	Modelo de derrames de petróleo sobre el agua	62
6.1	Algoritmo tridimensional de trayectoria del derrame de petróleo	62
6.1.1	Campo de flujo tridimensional 3D	65
6.1.2	Coeficientes de dispersión	65
6.1.3	Comparación con la solución analítica	66
6.1.4	Comparación con experimentos	66
6.2	Evaporación	67
6.2.1	Formulación de Stiver-Mackay	68
6.2.2	Formulación de Fingas	68
6.3	Emulsificación	72
6.4	Cambio de densidad y viscosidad	73
6.5	Formulación de propagación del petróleo	74
6.5.1	Formulación de A_k y B_k	75
6.6	Barreras de contención	78
6.7	Configuración de una simulación de derrame de petróleo sobre el agua	78
7	Modelo de transporte de contaminantes: PL	79
7.1	Ecuaciones del modelo	79
7.2	Solución numérica de volumen finito para el transporte de contaminantes	80
7.3	Introducción de datos para el modelo de transporte de contaminantes	82
7.4	Supuestos del modelo de transporte de contaminantes	83
8	Paralelización del código	84
8.1	CPU de OilFlow2D	84
8.2	GPU de OilFlow2D	85
9	Componentes hidráulicos e hidrológicos	87
9.1	Componente de puentes	88
9.1.1	Archivo de datos de geometría del puente	89
9.1.2	Cálculos de puentes	91
9.2	Pilas de puentes	95
9.2.1	Cálculo de pilas de puentes	96
9.3	Componente de alcantarillas	98
9.3.1	Cálculo de alcantarillas mediante una tabla de aforo (CulvertType = 0)	99
9.3.2	Cálculo de alcantarillas mediante las características de la alcantarilla (CulvertType = 1,2)	99
9.3.3	Supuestos de los cálculos de alcantarillas	105
9.3.4	Herramienta de intercambio de volumen entre varias celdas para alcantarillas en QGIS	105
9.4	Componente de compuertas	107
9.4.1	Cálculos de compuertas	109
9.5	Infiltración	110

9.5.1	Modelo de infiltración de Horton	110
9.5.2	Modelo de infiltración de Green-Ampt	112
9.5.3	Modelo SCS-CN	114
9.6	Componente de viento	116
9.7	Tablas de aforo internas	116
9.7.1	Cálculos de tablas de aforo internas	117
9.7.2	Supuestos de los cálculos de tablas de aforo internas	118
9.8	Vertederos	118
9.8.1	Cálculos de vertederos	119
9.8.2	Supuestos de cálculos de vertederos	120
9.9	Modelado de rotura de presa	120
9.9.1	Rotura de presa prescrita	120
9.9.2	Rotura de la presa por erosión de las tuberías	121
9.10	Descarga de flujo a través de la sección transversal de la tubería.	122
9.11	Erosión de tuberías	122
9.12	Desbordamiento de la erosión	124
9.13	Flujo de presa como condición de frontera interna	124
10	Programa de entrada de datos de Hydronia (DIP)	127
10.1	Panel Control Data (archivo .DAT)	128
10.2	Derrame de petróleo sobre tierra para el modelo OilFlow2D (archivo .OILP)	132
10.3	Módulo de derrame de petróleo sobre agua (archivo .OILW)	136
10.3.1	Pestaña Control Data de Oil Spill on Water	137
10.3.2	Pestaña Trajectory de Oil Spill on Water	138
10.3.3	Pestaña Evaporation de Oil Spill on Water	139
10.4	Panel de Transporte de Contaminantes (.SOLUTES)	139
10.5	Ficha Graphic Output Options (archivo .PLT)	140
10.6	Panel de salida de perfil (archivo .PROFILES)	142
10.7	Panel de salida de sección transversal (archivo .XSECS)	143
10.8	Panel de alcantarillas (archivo .CULVERTS)	144
10.9	Panel de Tablas de Calificación Interna (Archivo .IRT)	146
10.10	Panel de vertederos (archivo .WEIRS)	147
10.11	Panel de fuentes/sumideros (archivo .SOURCES)	147
10.12	Panel de socavación del puente (archivo .SCOUR)	148
10.13	Panel de pilares de puente (archivo .PIERS)	150
10.14	Panel de Puntos de Observación (Archivo .OBS)	151
10.15	Panel Tools	152
10.15.1	Procesar datos de lluvia y evaporación desde la herramienta de archivos de cuadrícula ASCII	153
10.15.2	Herramienta de extracción de datos HEC-RAS	154
11	Referencia de archivos de datos de entrada	156
11.0.1	Archivo de datos de control de ejecución: .DAT	159
11.1	Datos de malla	166
11.1.1	Archivo de datos de malla: .FED	166

11.1.2	Abrir archivos de datos de condiciones de contorno: .IFL y .OBCP	167
11.1.3	Archivo de datos de límites de malla: .TBA	172
11.2	Bridges	173
11.2.1	Archivo de datos de puentes: .BRIDGES	173
11.2.2	Archivo de datos de geometría de sección transversal de puente	174
11.3	Archivo de datos de alcantarillas: .CULVERTS	176
11.3.1	Ejemplo de un archivo .CULVERTS	177
11.3.2	Archivos de datos de la tabla de clasificación de profundidad-descarga de alcantarilla para CulvertType=0	178
11.3.3	Archivos de datos de características de alcantarilla para CulvertType = 1, 2	178
11.3.4	Ejemplo del archivo de datos de características de alcantarilla	179
11.3.5	Comentarios para los archivos .CULVERTS y características de alcantarillas	184
11.4	Archivo de datos de rotura de presa: .DAMBREACH	185
11.4.1	Ejemplo de un archivo .DAMBREACH	185
11.4.2	Archivo de datos de evolución del tiempo de incumplimiento para el modo de falla prescrito	187
11.4.3	Comentarios para el archivo .DAMBREACH	187
11.5	Archivos de datos GATES: .GATES	188
11.5.1	Ejemplo de un archivo .GATES	188
11.5.2	Archivo de serie temporal de apertura de puerta	189
11.5.3	Ejemplo de un archivo de datos de apertura de Gates	189
11.6	Archivo de datos de la tabla de calificación interna: .IRT	189
11.6.1	Ejemplo de un archivo .IRT	190
11.6.2	Comentarios para el archivo .IRT	191
11.7	Archivo de datos de lluvia y evaporación: .LRAIN	191
11.7.1	Comentarios para el archivo .LRAIN	192
11.7.2	Ejemplo de un archivo de datos de hietograma y evaporación	192
11.7.3	Comentarios para el archivo de datos de hietograma y evaporación.	192
11.8	Archivo de datos de infiltración: .LINF	193
11.8.1	Ejemplo de un archivo .LINF	193
11.8.2	Comentarios para el archivo .LINF	194
11.8.3	Ejemplo de un archivo de datos de parámetros de infiltración	194
11.9	Variable n de Manning con datos de profundidad Archivo: .MANNN	195
11.9.1	Comentarios para el archivo .MANNN	196
11.9.2	Ejemplo de una variable de Manning con un archivo de datos de profundidad	196
11.9.3	Comentarios para la variable n de Manning con archivo de datos de profundidad	197
11.9.4	Archivo de fuerzas de arrastre de pilares de puente: .PIERS	197
11.10	Archivo de datos de muelle y socavación del puente: .SCOUR	199
11.10.1	Ejemplo de un archivo .SCOUR	200
11.10.2	Comentarios para el archivo .SCOUR	202
11.11	Archivo de datos de fuentes y sumideros: .SOURCES	202
11.11.1	Ejemplo de un archivo .SOURCES	202
11.11.2	Comentarios para el archivo .SOURCES	203
11.12	Archivo de múltiples fuentes	203

11.12.1	Ejemplo de un archivo fuente múltiple	204
11.13	Archivos de datos de Weirs: .WEIRS y .WEIRP	205
11.13.1	Ejemplo de un archivo .WEIRS	205
11.13.2	Ejemplo de un archivo .WEIRP	206
11.13.3	Comentarios para el archivo .WEIRS	207
11.14	Archivo de datos de viento: .WIND	207
11.14.1	Ejemplo de un archivo	208
11.14.2	Comentarios para el archivo	209
11.14.3	Archivo de datos de velocidad del viento	209
11.14.4	Ejemplo de un archivo de datos y velocidad del viento	209
11.15	Archivo de datos de barreras de contención de petróleo: .BOOMS	209
11.15.1	Ejemplo de un archivo .BOOMS	210
11.16	Archivo de modelo de petróleo sobre tierra: .OILP	211
11.16.1	Ejemplo de un archivo .OILP	212
11.16.2	Archivo de tabla de temperatura-viscosidad-densidad	217
11.16.3	Archivo de series temporales de temperatura frente a densidad	217
11.16.4	Archivo de series temporales de temperatura frente a viscosidad	218
11.16.5	Archivo de series temporales de temperatura frente a tensión de rendimiento	218
11.16.6	Archivo de series temporales de parámetros ambientales	219
11.16.7	Archivo de datos de profundidad de retención de aceite: .DETENINITIAL	219
11.17	Archivo de óleo sobre agua: .OILW	220
11.17.1	Ejemplo de un archivo .OILW	224
11.17.2	Archivo de entrada de volumen acumulado	227
11.17.3	Ejemplo de un archivo de volumen acumulado	227
11.17.4	Archivo de liberación de derrames	227
11.17.5	Ejemplo de archivo de liberación de derrames	228
11.18	Archivo de datos del módulo de transporte de contaminantes: .SOLUTES	228
11.18.1	Ejemplo de un archivo .SOLUTES	228
11.18.2	Archivo de datos de concentración inicial del módulo de transporte de contaminantes: .CINITIAL	229
11.19	Archivo de datos del módulo de drenaje urbano: .LSWMM	230
11.19.1	Ejemplo de un archivo .LSWMM	230
11.19.2	Archivos de datos de descarga en función de la profundidad	232
11.20	Datos de control de salida	232
11.20.1	Archivo de datos de puntos de observación: .OBS	232
11.20.2	Archivo de datos de control de salida gráfica: .PLT	233
11.20.3	Datos para la salida del resultado del perfil: .PROFILES	236
11.20.4	Datos de sección transversal para el archivo de salida de resultados: .XSECS	237
11.21	Datos de elevación	238
11.21.1	Datos X Y Z con encabezado	238
11.22	Archivos de datos de condiciones de contorno	239
11.22.1	Archivos de condición de límite de una variable	239
11.22.2	Archivos de condiciones de límites de dos variables	240
11.22.3	Archivos de condiciones de límites de múltiples variables	241

11.22.4	Archivos de datos de descarga por etapas	241
11.22.5	Archivos de datos de descarga en profundidad de alcantarillas	242
12	Referencia del archivo de salida	244
12.1	Descripción general del archivo de salida	244
12.1.1	Archivos esenciales necesarios para generar mapas, gráficos y animaciones.	247
12.1.2	Archivo de tiempos de salida .outfiles	248
12.1.3	Tiempos de salida para el archivo .outfilesoilw del modelo Oil Spill on Water	248
12.1.4	Resumen de opciones de ejecución, archivos .outi y .oute	248
12.1.5	Datos y métricas de la malla, archivos .meshouti y .meshoute	250
12.1.6	Archivo de resumen de ejecución .rout	253
12.1.7	Archivos tabulares de valores máximos .maxi y .maxe	253
12.1.8	Salida de puntos de observación	255
12.1.9	Archivo 2binitialized.hotstart de inicio en caliente (versión 10, 2026)	256
12.1.10	Archivo de salida de balance de masa	257
12.2	Archivos de salida de componentes	258
12.2.1	Archivo de salida de booms .OUTBOOMS	258
12.2.2	Archivos de salida de alcantarillas CULVERT_culvertID.out	259
12.2.3	Archivos de tablas de clasificación internas IRT_irtID.out	259
12.2.4	Archivos de salida de vertederos .weiri y .weire	260
12.3	Archivos de salida de secciones transversales y perfiles	260
12.3.1	Archivos generales de secciones transversales .xseci y .xsece	260
12.3.2	Hidrogramas de secciones transversales .xsech y .xsecsed	261
12.3.3	Archivos de perfiles .prfi y .prfe	262
12.4	Archivos de salida para el posprocesamiento en QGIS	263
12.4.1	Resultados generales en las celdas	263
12.4.2	Archivos de concentración de derrames de petróleo en tierra considerando la transferencia de calor (módulo OilFlow2D Overland Spills)	264
12.4.3	Archivos de concentración de contaminantes (módulo PL)	265
12.4.4	Archivos de salida de petróleo y plásticos (módulos OilFlow2D Spills On Water y Plastics)	265
12.4.5	Archivos de valores máximos	269
12.4.6	Archivo de salida de tiempo hasta la profundidad en las celdas	269
12.4.7	Archivo de salida de valores de intensidad de peligro en las celdas	270
12.5	Archivos de salida VTK para Paraview	271
13	Herramientas de OilFlow2D	272
13.1	Ejecución automatizada por lotes de simulaciones del modelo	272
13.1.1	Uso de un script de MS-DOS para ejecutar varias simulaciones por lotes	272
13.1.2	Uso de un script de Python dentro de QGIS para ejecutar varias simulaciones por lotes	273
13.1.3	Uso de un script de Python mediante un archivo por lotes para ejecutar varias simulaciones	273

Lista de Figuras

1.1	Malla de celdas triangulares de OilFlow2D.	2
1.2	Gráfico que muestra las profundidades de petróleo calculadas con el modelo Oil-Flow2D.	5
2.1	Ventana de complementos de QGIS que muestra Hydronia2DMS instalado para la versión 10 y posteriores.	12
2.2	Ubicación de la carpeta de documentación de OilFlow2D.	16
3.1	Capas estándar de OilFlow2D creadas al utilizar el comando New OilFlow2D Project.	18
4.1	Malla flexible típica de OilFlow2D.	22
4.2	Diálogo de <i>CellSize</i>	23
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>	23
4.4	Malla generada a partir de los polígonos de la Figura añadiendo las dos polilíneas en la capa <i>MeshDensityLine</i>	24
4.5	Malla generada a partir del polígono de la capa <i>MeshDensityPolygon</i>	25
4.6	Malla generada a partir de los polígonos y polilíneas de la Figura añadiendo la polilínea en la capa <i>MeshBreakLine</i> . Observe que, a diferencia de la capa <i>MeshDensityLine</i> , las polilíneas introducidas en la capa <i>MeshBreakLine</i> obligan a la malla a tener nodos a lo largo de las polilíneas.	25
4.7	Panel de capas de QGIS con la capa <i>Boundary Conditions</i> seleccionada.	26
4.8	Selección de Toggle Editing (lápiz) y Add Feature.	26
4.9	Polígono de condición de contorno de entrada.	26
4.10	Diálogo de condición de contorno.	27
4.11	Panel BC Data de la condición de contorno.	27
4.12	Panel de capas de QGIS con la capa Manning N seleccionada.	28
4.13	Selección de Toggle Editing (lápiz) y Add Feature.	28
4.14	Polígonos de Manning's n.	28
4.15	Diálogo New Project.	29
4.16	Opciones de generación de malla.	30
4.17	Opciones de exportación de archivos.	30
4.18	Vista esquemática del deslizamiento.	31
4.19	Añadir la capa LandSlides.	32
4.20	Atributos de profundidad o volumen del deslizamiento.	33
4.21	Concentración de todas las clases que forman el material del deslizamiento.	33

5.1	Esquema del enfoque Shear Infinite Landslide.	40
5.2	Representación uniforme por tramos de las variables de flujo.	44
5.3	Parámetros de la celda.	45
5.4	Parámetros de la celda.	46
5.5	Condiciones de contorno abiertas y cerradas.	49
5.6	Hueco requerido entre condiciones de contorno abiertas adyacentes.	50
5.7	Caudal de entrada de agua impuesto como velocidades (BCTYPE 6).	51
5.8	Sección transversal rectangular de entrada.	54
5.9	Sección transversal irregular de entrada.	55
5.10	Evaluación de d_{min}	56
5.11	Nuevo nivel de agua para la sección de entrada.	58
5.12	Condición de pared sólida.	59
6.1	Comparison of numerical and analytical solution for instantaneous spill for different number of particles Np.	66
6.2	Mesa oil spreading experiments. Mackay and OilFlow2D formulations.	67
6.3	Lago Medio oil spreading experiments. Mackay and OilFlow2D formulation.	67
6.4	A_k vs. oil spreading coefficient σ in sea water	77
6.5	B_k as a function of oil density ρ_o	77
7.1	Representación física del intercambio de masa de soluto entre celdas con $q_{i-1/2}^\downarrow, q_{i+1/2}^\downarrow > 0$	81
7.2	Extracción de masa de soluto en una celda de contorno de salida.	82
7.3	Panel DIP <i>Pollutant Transport</i>	82
8.1	Aceleración obtenida con el código paralelizado de OilFlow2D en función del número de núcleos del procesador.	85
8.2	Aceleración obtenida con el código paralelizado de OilFlow2D en función del número de núcleos del procesador.	86
9.1	Panel DIP <i>Control Data</i> con el componente Puentes seleccionado.	88
9.2	Vista frontal de una sección transversal de un puente.	91
9.3	Vista superior de un puente que muestra las secciones transversales de interés. Por simplicidad, sólo se representan dos pilares.	92
9.4	Ejemplo sencillo de A_1, A_2, A_3 y A_4 utilizados para calcular la pérdida de carga en puentes de superficie libre.	93
9.5	Ejemplo simple de A_1, A_2, A_3 y A_4 utilizados para calcular la pérdida de carga en puentes parcialmente sumergidos.	93
9.6	Ejemplo simple de A_1, A_2, A_3 y A_4 utilizados para calcular la pérdida de carga en puentes completamente sumergidos.	93
9.7	Aplicación del esquema en mallas estructuradas triangulares. Puente normal (izquierda) y puente oblicuo (derecha).	94
9.8	Proporciones de los pilares del puente utilizadas para evaluar la influencia del ancho de la estructura.	95
9.9	Influencia del ancho de la estructura en el cambio de altura total (ΔH) a través del puente en función del número de Froud aguas abajo.	95

9.10	Cuadro de diálogo DIP <i>Control Panel</i> con el componente Bridge Piers seleccionado.	96
9.11	Muelles dentro de las celdas.	97
9.12	Vista esquemática de un muelle rectangular.	97
9.13	Cuadro de diálogo DIP <i>Global Parameters</i> con el componente de alcantarillas seleccionado.	98
9.14	Polígonos de alcantarilla de entrada y salida.	106
9.15	Vista esquemática de corte perpendicular a la estructura de una puerta.	108
9.16	Modos de flujo a través de puertas.	108
9.17	Panel DIP <i>Control Data</i> con el componente Gates seleccionado.	109
9.18	Niveles de agua para descarga bajo compuerta en condiciones sumergidas formulados como en (G1).	110
9.19	Niveles de agua para descarga bajo compuerta en condiciones sumergidas formulados como en (G2).	110
9.20	Dimensiones esquemáticas para el modo de falla de rotura de presa prescrito. . .	121
9.21	Celdas de límite interno.	125
10.1	Diálogo para abrir un proyecto en DIP.	127
10.2	Ventana principal de DIP.	128
10.3	Panel <i>Control Data</i>	129
10.4	Panel del modelo básico de Oil Spill on Land (modelo OilFlow2D).	133
10.5	Panel del modelo de transferencia de calor de Oil Spill on Land. Pestaña Environmental Parameters (modelo OilFlow2D).	134
10.6	Panel del modelo de transferencia de calor de Oil Spill on Land. Pestaña Density (modelo OilFlow2D).	134
10.7	Panel del modelo de transferencia de calor de Oil Spill on Land. Pestaña Viscosity (modelo OilFlow2D).	135
10.8	Panel del modelo de transferencia de calor de Oil Spill on Land. Pestaña Yield Stress (modelo OilFlow2D).	135
10.9	Panel del modelo de transferencia de calor de Oil Spill on Land. Pestaña Evaporation (modelo OilFlow2D).	136
10.10	Panel del modelo de transferencia de calor de Oil Spill on Land. Pestaña Boundary Control (modelo OilFlow2D).	136
10.11	Módulo Oil Spill on Water seleccionado en el panel Control Data (modelo OilFlow2D).	137
10.12	Panel Oil Spill on Water. Pestaña Control Data (modelo OilFlow2D).	137
10.13	Panel Oil Spill on Water. Pestaña Trajectory (modelo OilFlow2D).	138
10.14	Panel Oil Spill on Water. Pestaña Evaporation (modelo OilFlow2D).	139
10.15	Panel de transporte de contaminantes.	140
10.16	Panel de salida gráfica.	141
10.17	Archivo de salida de perfil.	143
10.18	Panel de salida de sección transversal.	144
10.19	Panel de alcantarillas con datos en la curva de aforo.	145
10.20	Panel de tablas de aforo internas.	146
10.21	Panel de vertederos.	147
10.22	Panel de fuentes y sumideros.	148
10.23	Panel de socavación de puentes.	149

10.24	Panel de pilas de puentes.	151
10.25	Panel de puntos de observación.	152
10.26	Panel de herramientas.	153
11.1	Ejemplo de una malla de OilFlow2D.	156
11.2	Vista frontal de una sección transversal de puente.	176
11.3	Lectura del archivo de múltiples fuentes.	204
11.4	Diálogo de múltiples fuentes.	204

1

Introducción

Esta sección presenta el sistema de ecuaciones, la formulación de las condiciones de contorno y el esquema de volúmenes finitos utilizado en OilFlow2D. La información puede ampliarse en las referencias.

OilFlow2D es un modelo numérico que simula la propagación de petróleo y fluidos viscosos sobre la superficie terrestre, así como la trayectoria y el destino de crudos en el agua. OilFlow2D forma parte del conjunto de modelos de Hydronia, que incluye RiverFlow2D y RiverFlow2D GPU. El componente de derrames sobre terreno de OilFlow2D puede simular profundidades y velocidades de fluidos sobre terrenos complejos con alta resolución y una estabilidad, precisión y velocidad notables, teniendo en cuenta la evaporación y la infiltración del petróleo. El uso de mallas adaptativas de celdas triangulares permite resolver el campo de flujo alrededor de elementos clave en geometrías irregulares y entornos de terreno complejos.

El componente de derrames de petróleo en agua de OilFlow2D calcula las trayectorias del petróleo en ríos, estuarios y aguas costeras, incorporando los efectos de la evaporación, emulsificación y disolución del petróleo, así como su interacción con las orillas.

Esta versión de OilFlow2D incluye una interfaz gráfica de usuario avanzada basada en un complemento desarrollado por Hydronia para el Sistema de Información Geográfica de código abierto QGIS (www.qgis.org). La integración del complemento OilFlow2D y el sistema de software QGIS proporciona funciones interactivas para generar y refinar la malla flexible utilizada por OilFlow2D, capas y herramientas GIS conocidas para construir una representación de alto nivel del modelo, facilitar la asignación de condiciones de contorno y valores de Manning's n , y gestionar todas las demás capas de datos requeridas por los componentes de OilFlow2D, lo que permite al usuario administrar eficazmente todo el proceso de modelación. OilFlow2D para QGIS ofrece un conjunto completo de herramientas de visualización, incluidos el renderizado de mapas, las animaciones y la exportación de gráficos en formato shapefile y Google Earth.

El motor de cálculo de OilFlow2D utiliza un método de solución de volúmenes finitos preciso, rápido y estable que garantiza la conservación exacta de la masa y soluciones estables mediante el ajuste

dinámico y automático del paso de tiempo numérico. OilFlow2D puede integrar estructuras hidráulicas como alcantarillas, vertederos, puentes, compuertas y vertederos, además de integrar el efecto del viento sobre la superficie del agua.

Este manual de referencia proporciona instrucciones para instalar el software OilFlow2D para QGIS y explica los fundamentos del modelo y sus componentes, así como los métodos numéricos utilizados para resolver las ecuaciones gobernantes. También presenta una descripción detallada de los archivos de datos de entrada y de salida. Un documento de tutorial independiente proporciona directrices detalladas para comenzar a utilizar las capacidades de OilFlow2D.



Figura 1.1 – Malla de celdas triangulares de OilFlow2D.

1.1 Resumen de las funciones y capacidades de OilFlow2D

1.1.1 Capacidad principal

- Simulación de crudos y fluidos viscosos sobre el agua y sobre terrenos complejos.

1.1.2 Generador de mallas

- Generación automática de mallas flexibles de celdas triangulares.
- Refinamiento de la malla a lo largo de polilíneas de densidad o dentro de polígonos.
- Uso de breaklines para ajustar la malla a lo largo de elementos 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 de los DEM en las celdas.
- Optimización de la numeración de celdas y nodos de la malla.

1.1.3 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 una mayor exactitud.
- Paralelización completa con OpenMP para una ejecución más rápida en equipos con varios núcleos.
- Versión GPU para simulaciones hasta $> 700X$ más rápidas mediante tarjetas gráficas NVIDIA GPU.

1.1.4 Componentes hidráulicos

- Roturas internas de presas y diques.
- Alcantarillas mediante la formulación de la Administración Federal de Carreteras de EE. UU. (FHWA).
- Hidráulica de puentes en 2D, incluidos el flujo a presión y el rebase.
- Fuerzas de arrastre de pilas de puentes.
- Vertederos con elevaciones de cresta variables.
- Compuertas.
- Rotura de presas (fallo prescrito, erosión por tubificación y rebase).
- Estructuras hidráulicas internas.
- Fuentes y sumideros.
- Esfuerzo del viento distribuido espacialmente.
- Socavación de pilas y estribos de puentes.
- Ejecuciones por lotes automatizadas y secuenciales para cada fuente de entrada/derrame.

1.1.5 Formatos de datos de entrada

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

1.1.6 Condiciones iniciales

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

1.1.7 Condiciones de contorno

- Hidrograma de caudal de agua.
- Caudal de agua y elevación del agua frente al tiempo.
- Elevación del agua frente al tiempo.
- Flujo uniforme.
- Tablas de aforo.
- Salida libre.
- Concentraciones de contaminantes en la entrada (módulo PL).

1.1.8 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 fondo.
- Número de Froude.
- 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 GIS de postprocesamiento, incluidos shapefiles e imágenes ráster.
- Paraview VTK.

1.1.9 Salida de resultados para valores máximos

- Magnitud máxima de la velocidad.
- Profundidades máximas.
- Elevaciones máximas de la superficie del agua.
- Profundidad máxima por velocidad.
- Esfuerzo cortante máximo.
- Fuerza de impacto máxima por unidad de anchura.

1.1.10 Módulo de transporte de contaminantes PL

- Advección-dispersión-reacción.
- Tasas de reacción entre contaminantes/solutos.

- Cálculo simultáneo de múltiples solutos.

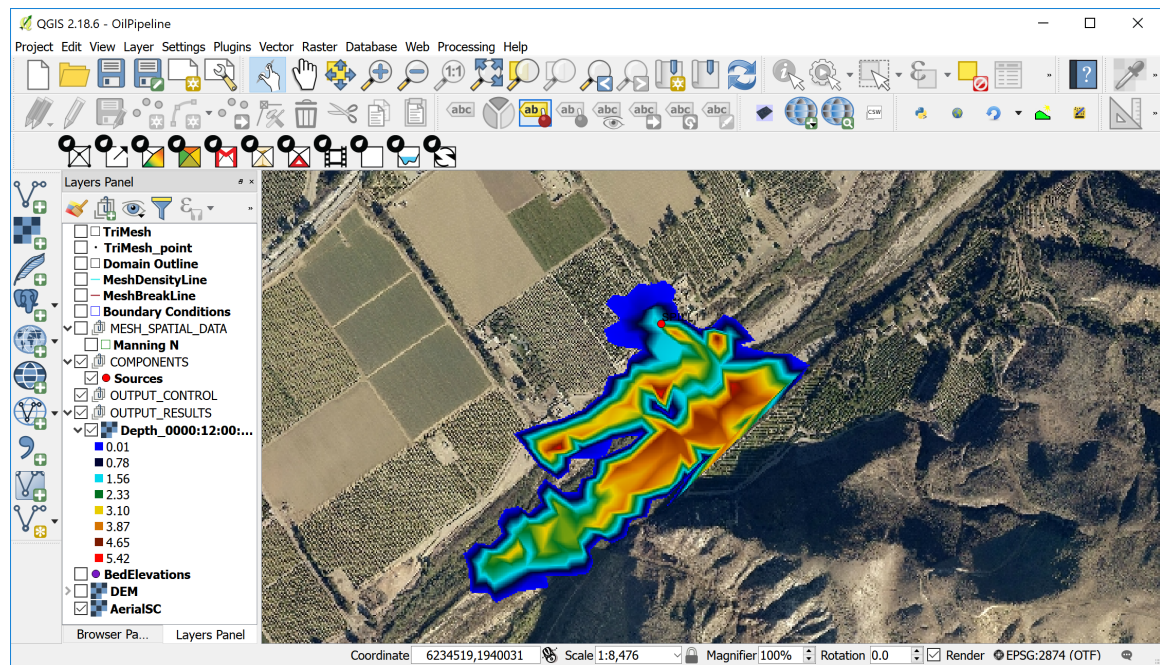


Figura 1.2 – Gráfico que muestra las profundidades de petróleo calculadas con el modelo OilFlow2D.

2

Instalación y activación de OilFlow2D

La instalación de OilFlow2D incluye la versión más actual de QGIS que se ha probado para trabajar con el modelo. Esta sección le ayudará a configurar OilFlow2D y habilitarlo en QGIS.

2.1 Requisitos de hardware

OilFlow2D es compatible con computadoras de 64 bits que ejecuten versiones del sistema operativo MS-Windows de la 7 a la 11. Se recomienda utilizar una computadora con un mínimo de 4 GB de RAM y al menos 10 GB de espacio libre en el disco duro. OilFlow2D puede ejecutarse en computadoras modernas con un solo procesador Intel. Si hay procesadores con varios núcleos (Duo, Quad, etc.) disponibles, el modelo puede ejecutarse en modo de procesamiento paralelo y funcionar mucho más rápido que en computadoras con un solo procesador. Además, mediante la opción GPU de OilFlow2D, el modelo puede aprovechar las tarjetas de Unidad de Procesamiento Gráfico (GPU) de NVIDIA para ejecutarse hasta 700 veces más rápido que en computadoras con un solo procesador.

2.2 Instalación del software

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

Nota

Será necesario reiniciar. Reinicie antes de pasar a la siguiente sección.

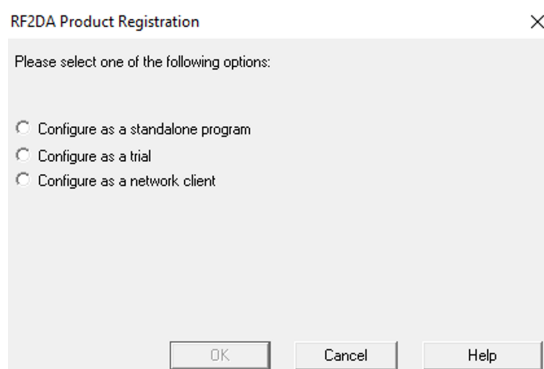
2.3 Activación del software

- Standalone - Una licencia individual para una computadora.
- Network - Una licencia centralizada que permite varios usuarios simultáneos según el número de licencias adquiridas. Para ello es necesario instalar software adicional de gestión de licencias en una computadora accesible de la red.

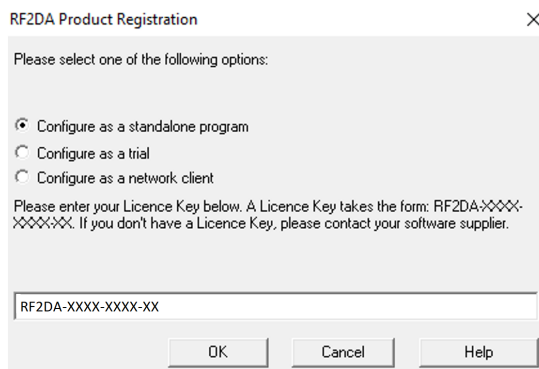
2.3.1 Activación Standalone

Utilice este modo de activación si ha recibido una clave de licencia de software independiente para un solo usuario. Si recibió una clave de licencia de red, 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:

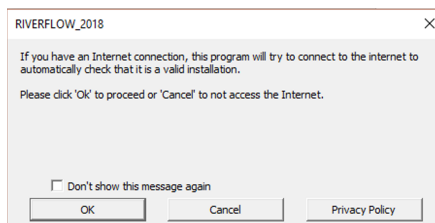


6. Seleccione *Configure as a standalone program*.
7. Introduzca la clave de licencia que se le proporcionó (por ejemplo,):



8. Haga clic en *OK*.

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



10. El siguiente diálogo solicita los datos de registro del producto. Complete los campos obligatorios:

11. Una vez completado el registro, pase a la sección *Habilitar los complementos de Hydronia en QGIS*.

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.

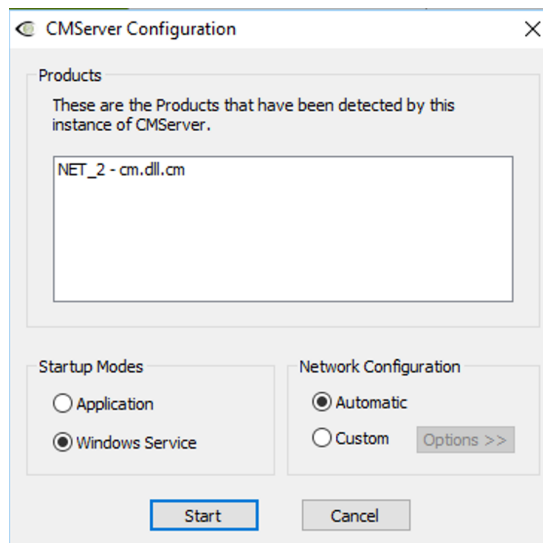
Una instalación de red permite utilizar el software en cualquier número de máquinas de la misma red, pero limita el número de usuarios simultáneos del software.

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

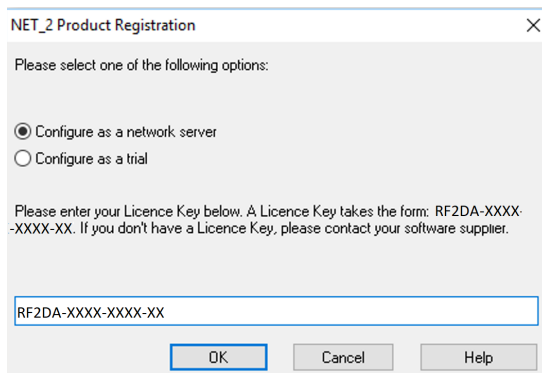
El administrador de red necesitará una clave de licencia (configurada para permitir la instalación de red) para activar la instalación en el servidor. Se recomienda que el administrador de red no revele esta clave de licencia a los usuarios finales, para evitar que intenten activar su copia del software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

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

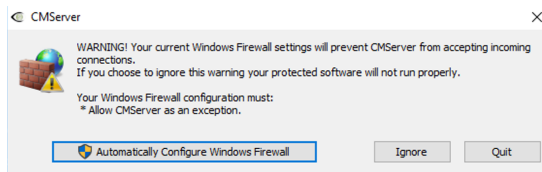
1. Para activar el software, debe abrir el acceso directo de DIP en el escritorio.
2. En la sección *Control Data* de la izquierda, vaya a *Options* y seleccione *License*.
3. Se le pedirá que seleccione una de tres opciones:
 1. Reactivate License
 2. Install Network License Server
 3. Check for Updates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

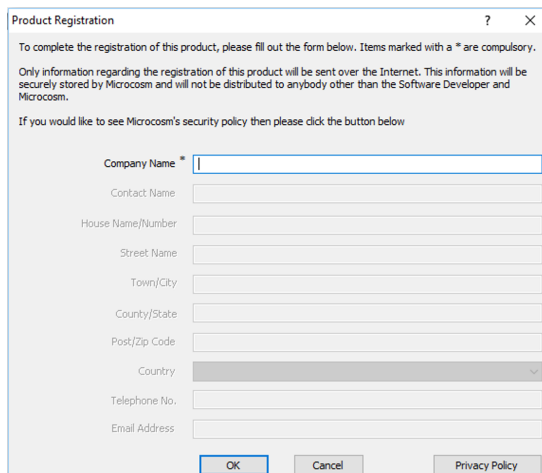


10. Se le pedirá que añada una excepción a las reglas del cortafuegos.

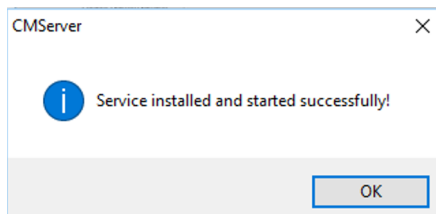


11. Seleccione *Automatically Configure Windows Firewall*.

12. A continuación, introduzca sus datos en la ventana de registro del producto:

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

13. Si todo es correcto, 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 servidor de licencias de red esté en ejecución, el programa OilFlow2D y sus dependencias deben instalarse en cada computadora estación de trabajo cliente. Consulte la sección

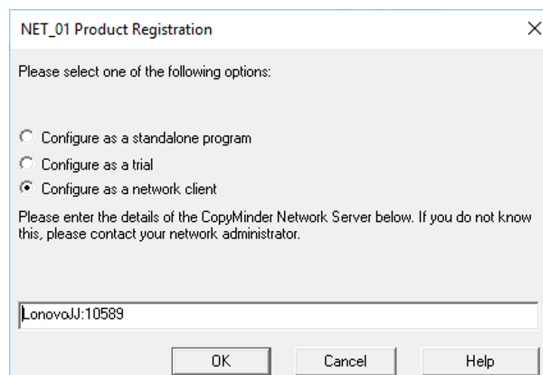
Instalación del software. Los pasos siguientes suponen que ya ejecutó el programa de instalación en la computadora cliente y está listo para activar el software.

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 seguido de .

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



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

Nota

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

2.4 Habilitar los complementos de Hydronia en QGIS

De forma predeterminada, la primera vez que ejecute QGIS el complemento OilFlow2D no estará habilitado.

Para la versión 10 y posteriores, habilite el complemento unificado Hydronia2DMS en la lista *Installed*. Hydronia2DMS proporciona las herramientas con configuración de OilFlow2D para su instalación. La entrada del complemento específico del producto que se muestra en la sección siguiente se aplica a instalaciones anteriores a v10 o independientes.

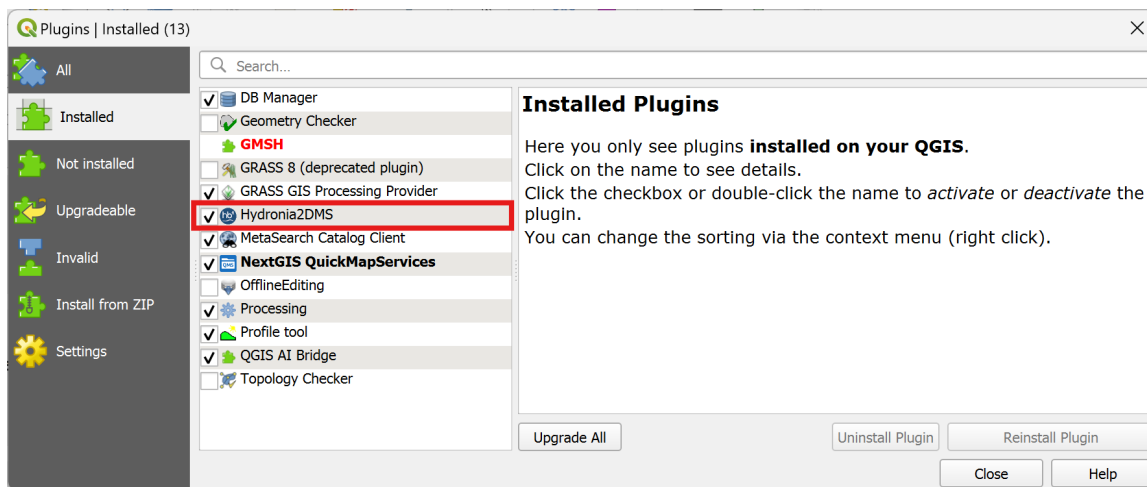
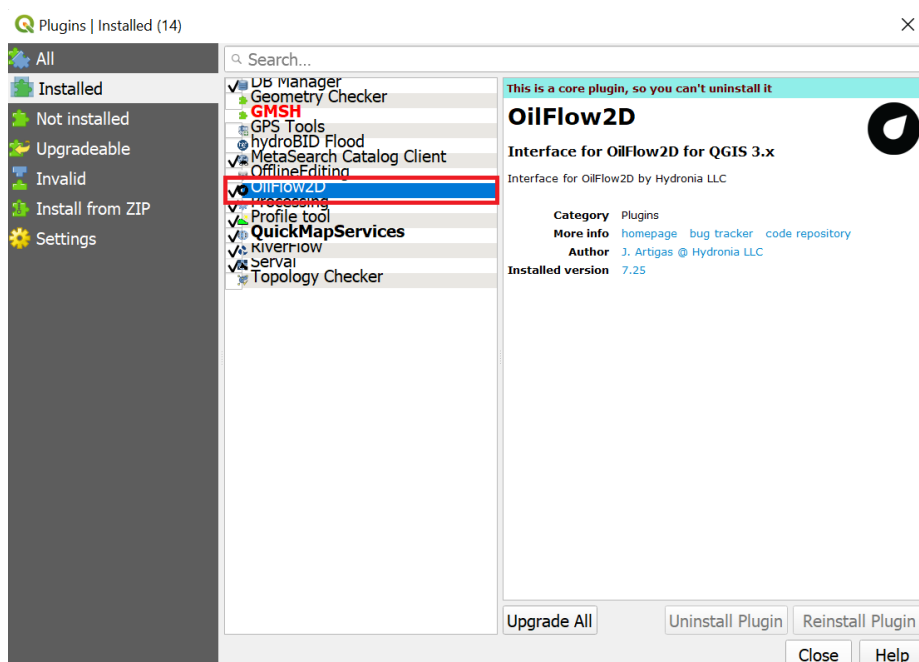


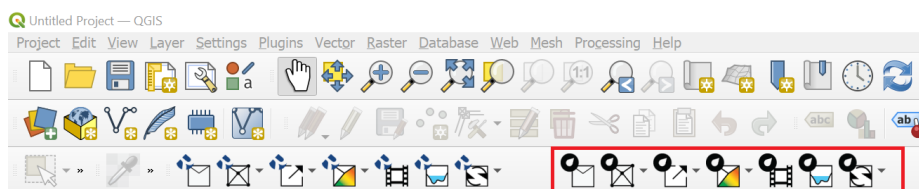
Figura 2.1 – Ventana de complementos de QGIS que muestra Hydronia2DMS instalado para la versión 10 y posteriores.

2.4.1 Habilitar el 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.



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

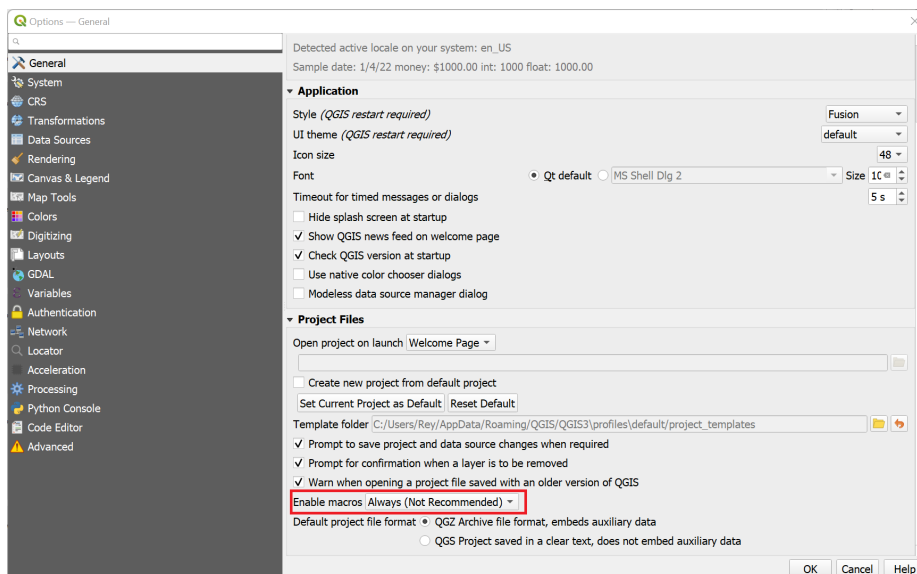


2.4.2 Habilitar macros en QGIS

Para utilizar correctamente el complemento OilFlow2D 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, lo que no se aplica a los complementos de Hydronia.



2.5 Solución de problemas

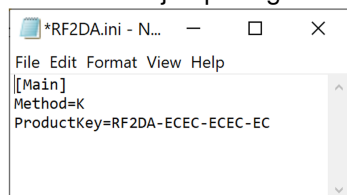
En esta sección incluimos soluciones para algunos problemas que pueden producirse durante la instalación del software. Tenga en cuenta que siempre puede ponerse en contacto con el equipo de soporte de Hydronia en para informar de cualquier mensaje de error o problema que pueda encontrar durante la instalación.

2.5.1 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:

- Standalone: C:\ProgramData\AVU\OF2DA.ini
- Network License Server: C:\Program Files\Hydronia\LicenseManager\OF2DA.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 Ver quién utiliza el software en una instalación de red

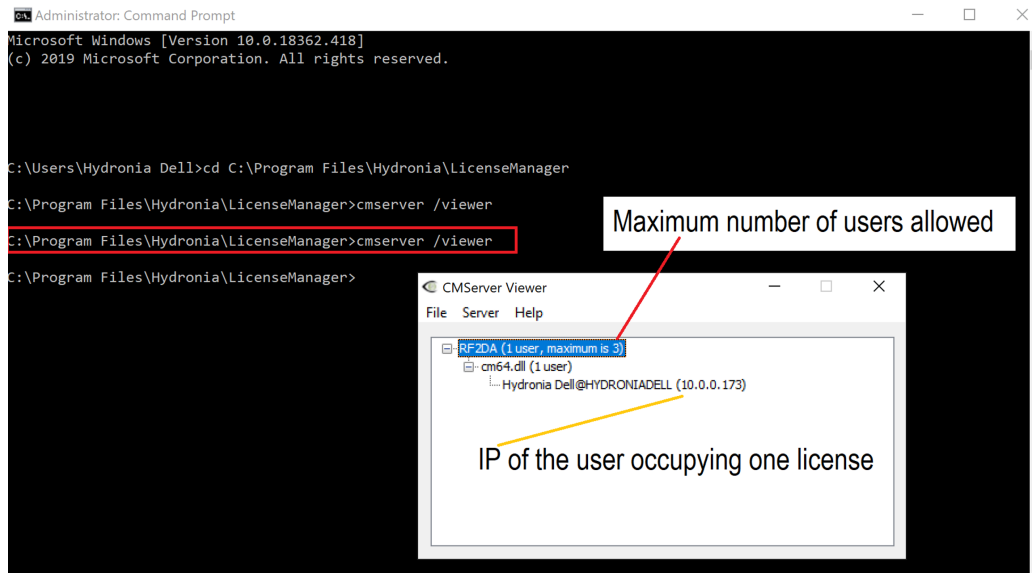
Puede comprobar cuántos usuarios ocupan cada licencia y conocer el identificador de su computadora mediante el programa visor instalado en la carpeta.

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

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

1. En el cuadro de búsqueda de Windows escriba y pulse *Enter*
2. Introduzca y pulse *Enter*
3. Introduzca 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, en ocasiones la ejecución se interrumpió en una etapa crítica y el ejecutable del modelo permanece en memoria. El sistema de protección interpreta esto como si hubiera más licencias en ejecución. Para solucionar este problema, abra el Administrador de tareas de Windows y, en la pestaña Processes, 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 especificar una clave de producto en una máquina cliente de red en lugar del nombre de host del administrador de licencias. En una instalación de red, cuando el modelo se ejecuta por primera vez en una máquina cliente, debe seleccionar *Configure as a network client* e introducir el nombre de host de la computadora donde está instalado el administrador 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 configurada para uso independiente. Para resolver el problema, instale el servidor de licencias de red tal como se indica en la sección de activación 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 OilFlow2D se ha instalado o reactivado más veces de las permitidas por el programa de protección. No indica necesariamente un uso incorrecto del modelo. Si recibe este error, envíe un correo electrónico a nuestro equipo de soporte en 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 OilFlow2D

Encuentre la documentación de OilFlow2D, incluido este manual, en la carpeta de documentación instalada con el software. La instalación también incluye proyectos de ejemplo, vídeos y otros recursos útiles.

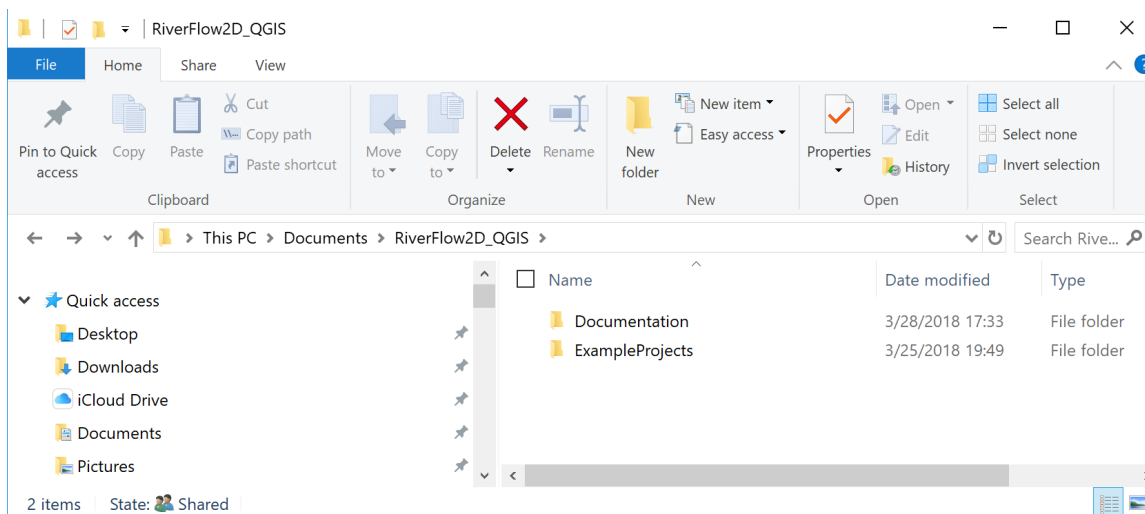


Figura 2.2 – Ubicación de la carpeta de documentación de OilFlow2D.

2.7 Soporte técnico de OilFlow2D

Si tiene alguna pregunta o necesita ayuda para utilizar OilFlow2D, envíe un correo electrónico a nuestro equipo de soporte a:

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

2.8 Tutoriales de OilFlow2D

La mejor manera de familiarizarse con las capacidades de OilFlow2D es seguir los tutoriales. Los tutoriales de OilFlow2D que acompañan al software le ayudan a 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 OilFlow2D

Cuando se crea un proyecto nuevo de OilFlow2D en QGIS, el complemento crea varias capas vacías, cada una con un propósito específico y asociada con determinados componentes o módulos. El conjunto estándar incluye las capas representadas en la Figura. La descripción de cada capa se incluye en la Tabla.

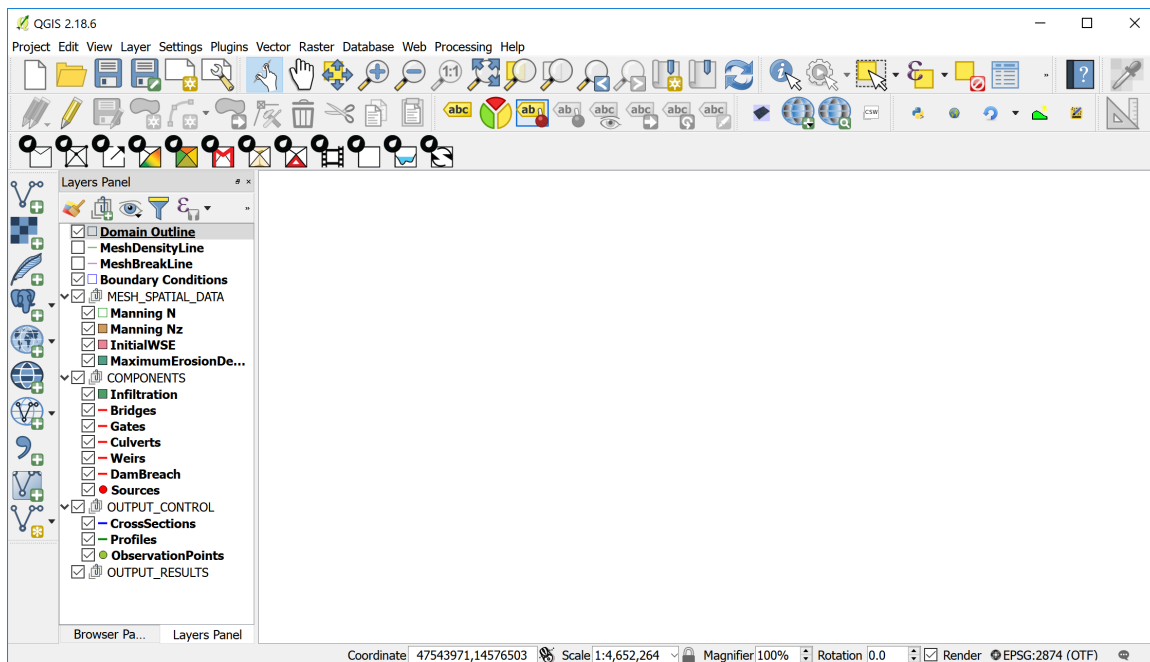


Figura 3.1 – Capas estándar de OilFlow2D creadas al utilizar el comando New OilFlow2D Project.

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

Contenido		
RainEvap	Polygon	Contenedor de áreas asociadas a una intensidad de lluvia y evaporación.
Wind	Polygon	Define áreas asociadas a una serie temporal de velocidad del viento que se utilizará en el modelo para calcular el esfuerzo del viento sobre la superficie del agua.
Bridges	Line	Incluye polilíneas que definen puentes. Cada entidad tendrá datos específicos que caracterizan la sección transversal del puente. Además, las líneas actuarán como breaklines duras.
Gates	Line	Incluye polilíneas que definen compuertas. Cada entidad tendrá datos específicos que caracterizan la compuerta, incluida una tabla de apertura. Además, cada línea actuará como una breakline dura.
Culverts	Line	Contiene líneas que conectan dos puntos del área de modelación mediante alcantarillas. El modelo calculará el caudal de la alcantarilla según los datos proporcionados y transferirá el caudal 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 breakline dura.
DamBreach	Line	Contiene polilíneas que representan presas o diques en planta. Permiten al modelo calcular el caudal a través de roturas de diques o presas.
Sources	Point	Contenedor de fuentes o sumideros puntuales. Los datos de las fuentes incluyen una serie temporal de caudal frente al tiempo. Al utilizar el módulo PL de transporte de contaminantes, los datos deben incluir las 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 derramado y otros parámetros requeridos para simular la trayectoria y el comportamiento del petróleo a partir de los resultados existentes de una ejecución hidrodinámica.
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.

		Contenido
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 para indicar puntos de intercambio de flujo entre el agua superficial y la red de drenaje pluvial de un modelo EPA-SWMM.
OUTPUT_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.
OUTPUT_RESULTS	ncluye cap	as con resultados del modelo que el programa incorporará al crear gráficos específicos con resultados del modelo.
Grupo que i		
: Capas de OilFlow2D.		

4

Generación de mallas en OilFlow2D

La base del motor computacional de OilFlow2D es la malla flexible, también llamada malla no estructurada o Red Triangular Irregular (TIN). La malla está formada por triángulos, normalmente de distinto tamaño, y se denomina flexible porque puede adaptarse a la topografía irregular, los contornos, las estructuras o cualquier obstáculo que pueda existir en el área de modelación (véase la Figura).

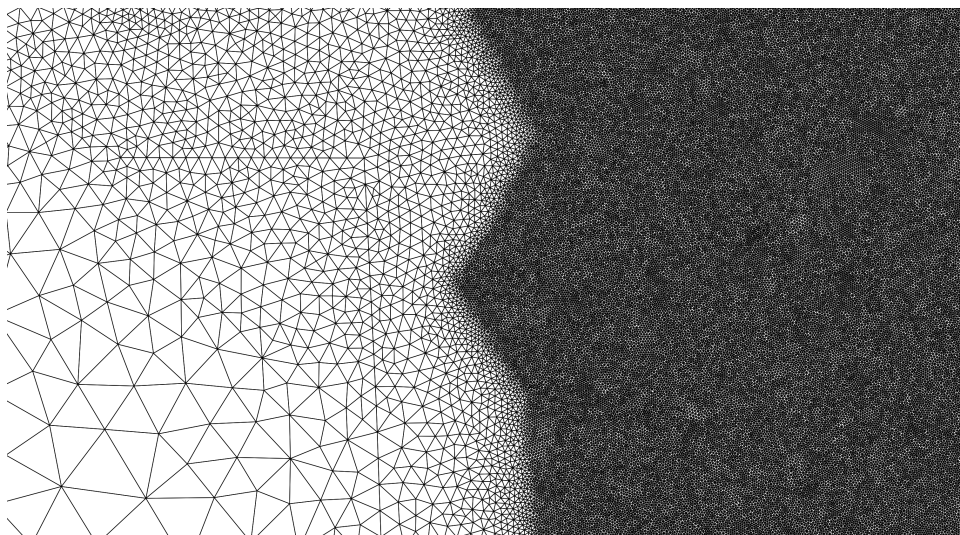


Figura 4.1 – Malla flexible típica de OilFlow2D.

La unidad computacional fundamental del modelo OilFlow2D es la celda triangular, en la que se calculan las velocidades, la profundidad y otras variables.

En OilFlow2D hay varias herramientas que pueden utilizarse para controlar la generación de mallas. Estas herramientas utilizan objetos espaciales, como polilíneas y polígonos, y parámetros que puede introducir en las capas *Domain Outline*, *MeshDensityLine*, *MeshDensityPolygon* y *Mesh-*

BreakLine.

4.1 Control del tamaño de celda mediante Domain Outline

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 representan islas impermeables u otros obstáculos. Los polígonos internos no contendrán celdas.

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

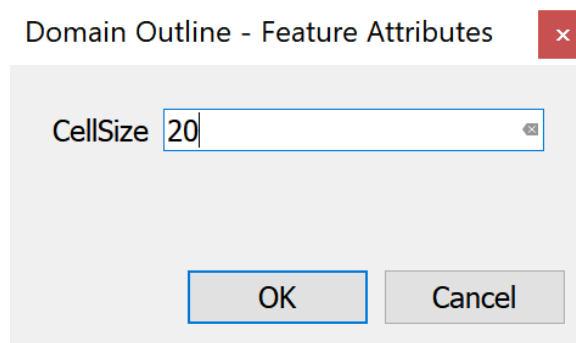


Figura 4.2 – Diálogo de *CellSize*.

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

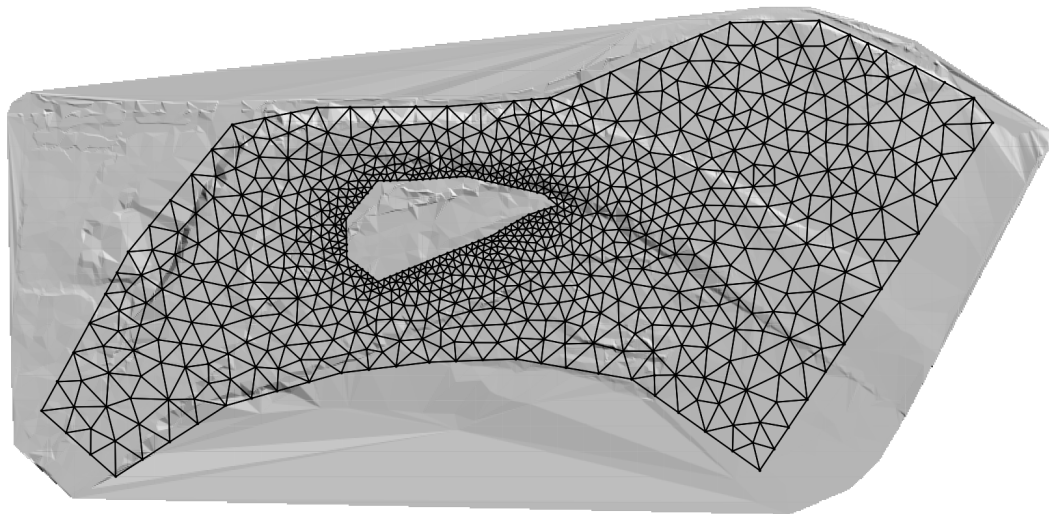


Figura 4.3 – Malla generada a partir de un polígono externo con *CellSize* = 50ft y un polígono interno con *CellSize* = 10ft, ambos introducidos en la capa *Domain Outline*.

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

La capa *MeshDensityLine* se utiliza para introducir polilíneas sobre las cuales el programa de generación de mallas refinará la malla según el atributo *CellSize* de cada polilínea. Las polilíneas no obligarán al generador de mallas a crear nodos a lo largo de ellas. En este sentido, actúan como breaklines blandas (véase la Figura).

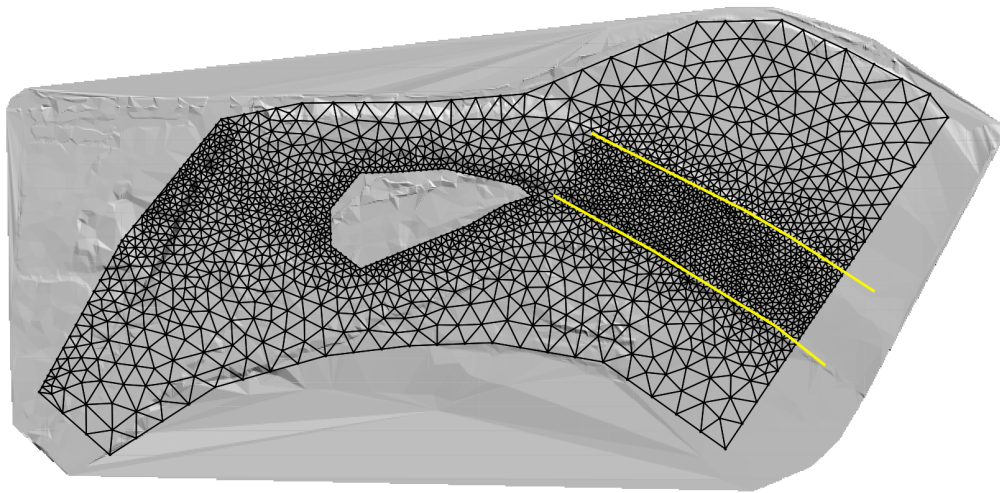


Figura 4.4 – Malla generada a partir de los polígonos de la Figura añadiendo las dos polilíneas en la capa *MeshDensityLine*.

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

La capa *MeshDensityPolygon* se utiliza para introducir polígonos dentro de los cuales el programa de generación de mallas refinará la malla según 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).

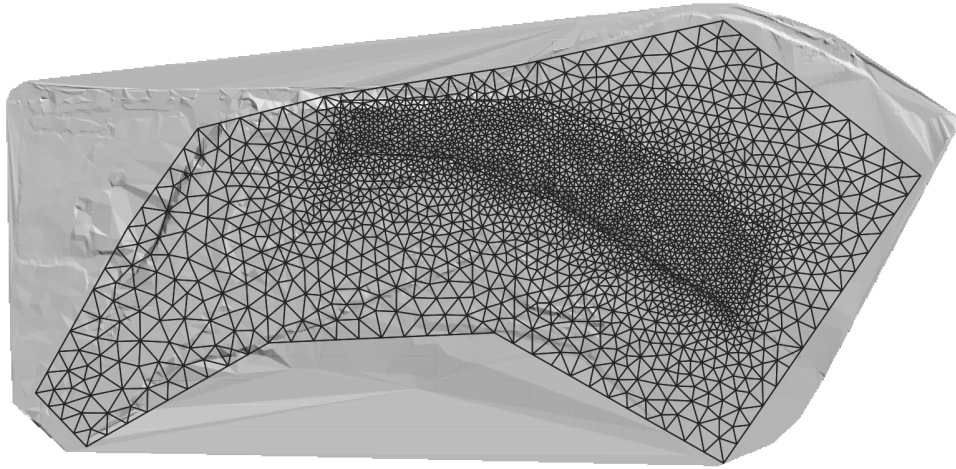


Figura 4.5 – Malla generada a partir del polígono de la capa *MeshDensityPolygon*.

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 según 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 tanto, actúan como breaklines duras (véase la Figura).

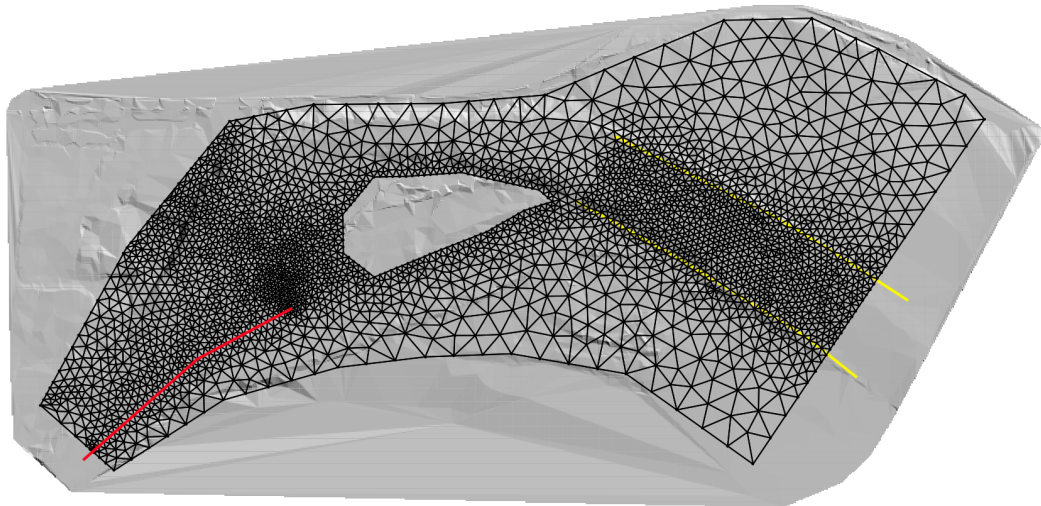


Figura 4.6 – Malla generada a partir de los polígonos y polilíneas de la Figura añadiendo la polilínea en la capa *MeshBreakLine*. Observe que, a diferencia de la capa *MeshDensityLine*, las polilíneas introducidas en la capa *MeshBreakLine* obligan a la malla a tener nodos a lo largo de las polilíneas.

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

MeshDensityLine, *MeshDensityPolygon* y *MeshBreakLine*, 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 las capas respectivas y todos tienen un atributo *CellSize* que produce el mismo efecto que las breaklines de malla.

4.5 Condiciones de contorno

Los datos para imponer condiciones de contorno abiertas en OilFlow2D deben introducirse en la capa *Boundary Conditions*. Esta capa solo acepta polígonos. No se permiten líneas ni puntos. Para introducir un polígono, seleccione primero la capa haciendo clic en *Boundary Conditions* en el panel de capas de QGIS.

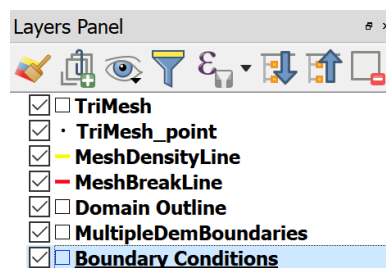


Figura 4.7 – Panel de capas de QGIS con la capa *Boundary Conditions* seleccionada.

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

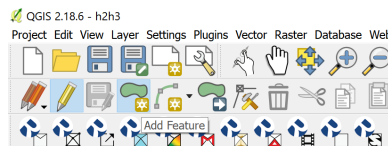


Figura 4.8 – Selección de Toggle Editing (lápiz) y Add Feature.

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

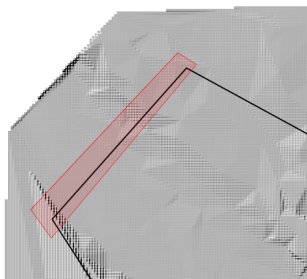


Figura 4.9 – Polígono de condición de contorno de entrada.

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

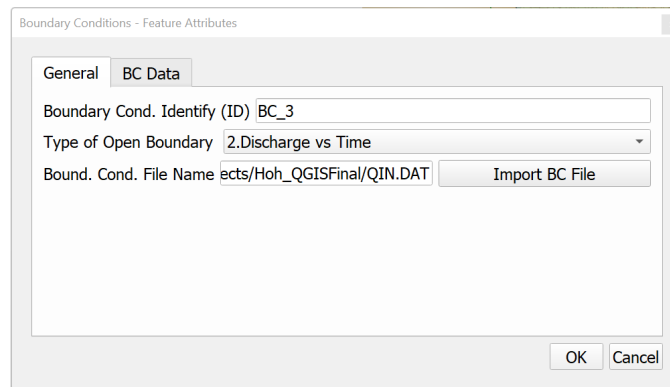


Figura 4.10 – Diálogo de condición de contorno.

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

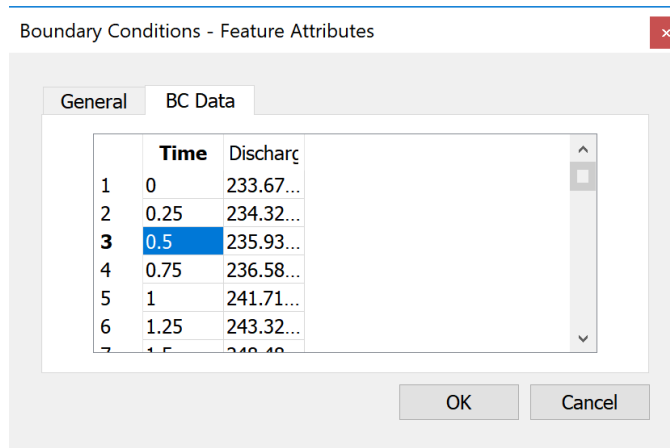


Figura 4.11 – Panel BC Data de la condición de contorno.

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 de 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 Manning's n

Para asignar coeficientes de Manning's n espacialmente variables en OilFlow2D, introduzca polígonos en la capa Manning N. Esta capa solo acepta 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.

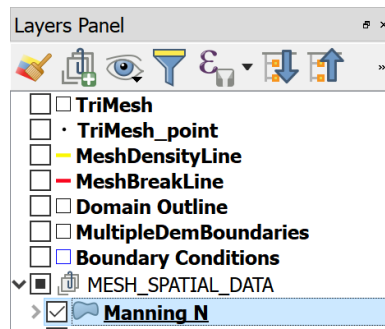


Figura 4.12 – Panel de capas de QGIS con la capa Manning N seleccionada.

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

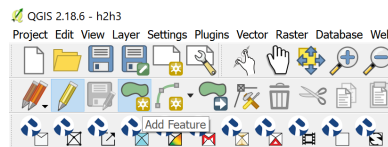


Figura 4.13 – Selección de Toggle Editing (lápiz) y Add Feature.

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

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 condición de contorno asociado.

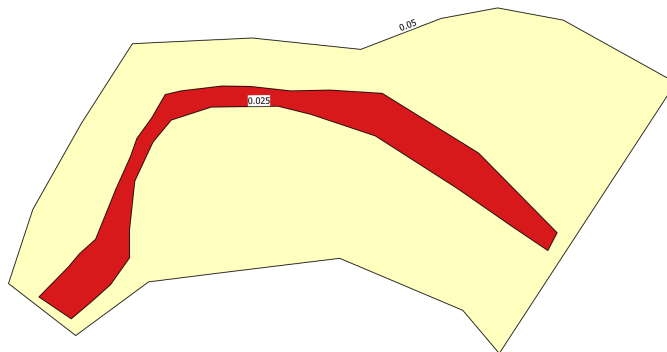


Figura 4.14 – Polígonos de Manning's n.

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

4.7 Funciones de la barra de herramientas de OilFlow2D

4.7.1 Nuevo proyecto de OilFlow2D



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

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

La figura muestra el *Create New OilFlow2D Project Dialog*. Observe que no es necesario seleccionar todas las capas disponibles, sino solo 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 OilFlow2D que se describe a continuación.

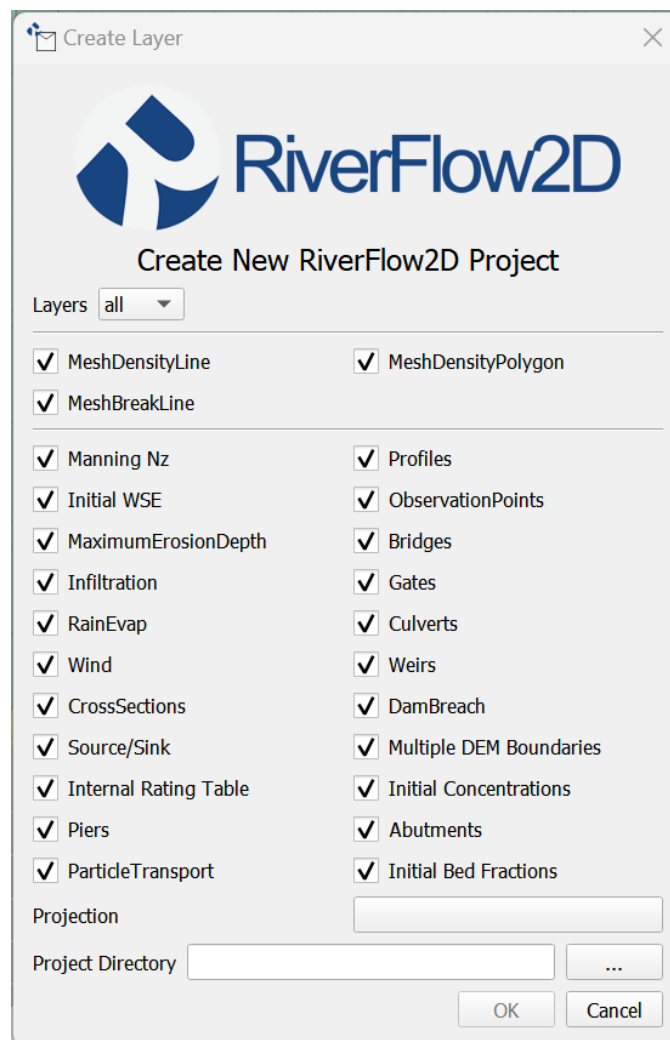


Figura 4.15 – Diálogo New Project.

4.7.2 Generar TriMesh

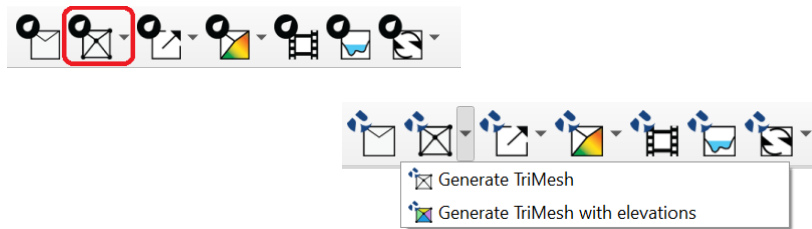


Figura 4.16 – Opciones de generación de malla.

4.7.3 Exportar archivos para OilFlow2D

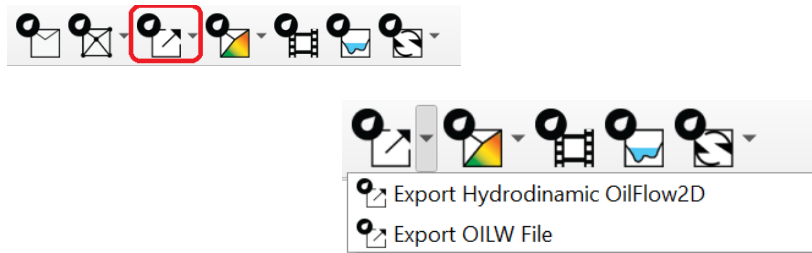


Figura 4.17 – Opciones de exportación de archivos.

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) y la concentración de las clases de sedimentos que forman este material. Con esta información, el modelo supondrá que, bajo el polígono indicado, el material hasta la profundidad indicada podría fluir en función de las demás condiciones del modelo.

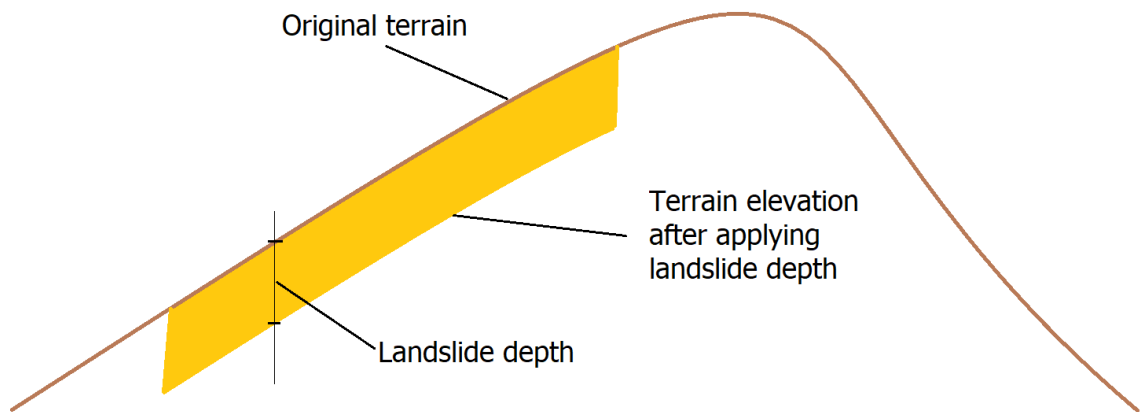


Figura 4.18 – Vista esquemática del deslizamiento.

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

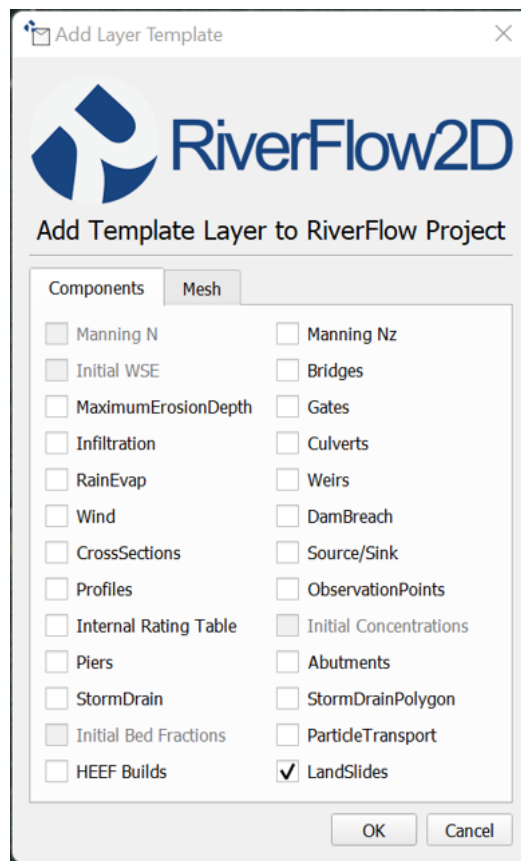


Figura 4.19 – Añadir la capa LandSlides.

Luego 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:

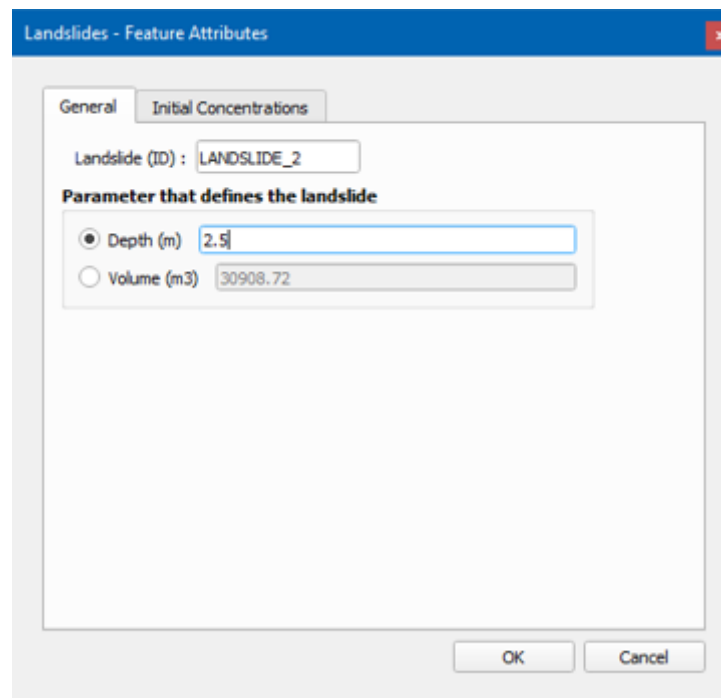


Figura 4.20 – Atributos de profundidad o volumen del deslizamiento.

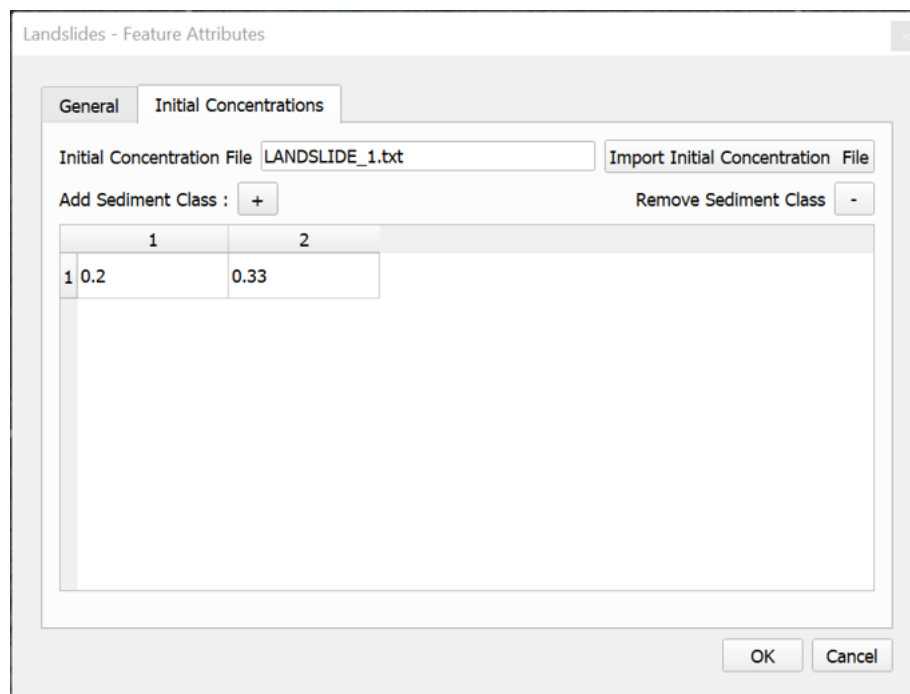


Figura 4.21 – Concentración de todas las clases que forman el material del deslizamiento.

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

- La elevación de la celda será igual a la elevación original del terreno menos la profundidad indicada (véase la Figura).

- 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 debe seleccionarse *Read initial water elevs. from FED file* en el panel DIP Control Data.

5

Modelo de derrame de petróleo sobre terreno

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 coste de los modelos numéricos tridimensionales no simplificados puede evitarse utilizando las ecuaciones bidimensionales (2D) de aguas someras promediadas en profundidad.

Al trabajar con las ecuaciones de aguas someras, las aplicaciones realistas siempre incluyen términos fuente que describen la variación del nivel del fondo y la fricción del fondo que, si no se discretizan correctamente, pueden provocar inestabilidades numéricas. En la última década, el esfuerzo principal se ha centrado en mantener un equilibrio discreto entre los términos de flujo y fuente en casos de agua en reposo, dando lugar a la noción de esquemas bien equilibrados o propiedad C [1, 2, 3]. Recientemente, para incluir correctamente el efecto de los términos fuente en la solución débil, se han presentado solucionadores de Riemann aproximados aumentados [Rosatti et al. (2003), 4]. De este modo, pueden calcularse soluciones precisas sin imponer los 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 OilFlow2D; la información puede ampliarse en las referencias.

5.1 Supuestos del modelo de flujo viscoso

1. OilFlow2D utiliza las ecuaciones de aguas someras resultantes de la integración vertical de la ecuación de Navier-Stokes. Por tanto, el modelo no calcula aceleraciones verticales ni velocidades verticales y, en consecuencia, no puede resolver flujos secundarios.
2. Se supone que el esfuerzo cortante del fondo sigue las direcciones de la velocidad promediada en profundidad.
3. El modelo no incluye términos de dispersión ni de turbulencia. La disipación de la turbulencia

y las pérdidas de energía se tienen en cuenta únicamente mediante el término de Manning's n en las ecuaciones de cantidad de movimiento.

4. El modelo puede considerar la transferencia de calor para calcular la temperatura del petróleo mientras fluye sobre el terreno, y considera la variación de la densidad, la viscosidad y el esfuerzo de fluencia en el tiempo y el espacio.

5.2 Ecuaciones de flujo considerando variaciones de temperatura prescritas

Los flujos de aguas someras pueden describirse matemáticamente mediante ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento promediadas en profundidad, junto con todos los supuestos asociados. Ese 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 los componentes promediados 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 han obtenido suponiendo 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 fondo y de las fuerzas tangenciales generadas por el esfuerzo del fondo.

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

donde las pendientes 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 fondo 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 petróleo es prescrita por el usuario y no depende de los cambios ambientales durante la simulación.

5.3 Ecuaciones considerando la transferencia de calor

Esta sección presenta las ecuaciones que resuelve OilFlow2D para considerar la transferencia de calor del petróleo a la atmósfera y al suelo mientras fluye sobre el terreno. El modelo también determina cómo cambian la densidad, la viscosidad y el esfuerzo de fluencia del petróleo en función de la temperatura durante la simulación.

La ecuación de continuidad para la masa de petróleo se escribe como

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho h u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho h v) = 0$$

y las leyes de conservación de la cantidad de movimiento lineal total a lo largo de los ejes x e y se expresan como

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho h u)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho h u^2 + \frac{1}{2} g_n \rho h^2) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho h u v) &= -g_n \rho h \frac{\partial z_b}{\partial x} - \tau_{bx} \\ \frac{\partial(\rho h v)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho h u v) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho h v^2 + \frac{1}{2} g_n \rho h^2) &= -g_n \rho h \frac{\partial z_b}{\partial y} - \tau_{by} \end{aligned}$$

donde ρ es la densidad volumétrica integrada en profundidad [kg/m³ o lb/ft³], h es la profundidad vertical del flujo [m o ft] y (u, v) son los componentes del vector de velocidad del flujo integrado en profundidad u [m/s o ft/s], z_b es la elevación del fondo [m o ft] y (τ_{bx}, τ_{by}) son los componentes del vector de resistencia basal integrado en profundidad τ_b . La ecuación de energía para la temperatura se escribe en forma no conservativa:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} T + v \frac{\partial}{\partial y} T = \mathbf{S}_T$$

donde el término fuente $\mathbf{S}_T$ considera la transferencia de calor del petróleo con el entorno en función de la profundidad del petróleo, h , y otros factores. Para cerrar el modelo, se utiliza la siguiente ecuación para determinar la densidad del fluido ρ [kg/m³ o lb/ft³]

$$\rho = \rho_0 + \Lambda(T - T_0)$$

donde ρ_0 [kg/m³ o lb/ft³] es la densidad de referencia del petróleo a la temperatura T_0 [°K] y Λ es un parámetro experimental.

5.3.1 Propiedades del fluido y leyes de fricción

Además de la densidad, la temperatura del flujo también afecta a la viscosidad y al esfuerzo de fluencia, generando cambios en los esfuerzos de fricción entre el flujo y el terreno. La dependencia del esfuerzo de fluencia [Pa o lb/in²] con la temperatura puede introducirse como una tabla de esfuerzos experimentales para cada temperatura o mediante fórmulas de regresión como la siguiente:

$$Y_s = 10^{(A_{ys}T^2 + B_{ys}T - C_{ys})},$$

donde A_{ys} , B_{ys} y C_{ys} son parámetros del flujo obtenidos de la caracterización del petróleo. La viscosidad del petróleo, μ [Pa·s o lb·s/in²], se rige por la formulación de Andrade:

$$\mu = Av e^{(Bv/T)}$$

donde Av y Bv son parámetros del flujo obtenidos de la caracterización del petróleo y T está en °K. El modelo también ofrece la opción de introducir tablas que representan la variación de la viscosidad, el esfuerzo de fluencia y la densidad en función de la temperatura.

5.3.2 Término fuente de temperatura y mecanismos de transferencia de calor

El término fuente de temperatura se calcula como

$$S_T = \frac{Q}{\rho C_p h}$$

donde C_p es el calor específico [J/kg°C o BTU/lb°F], y Q es el flujo de calor total [W/m² o BTU/ft²] que cuantifica el intercambio de calor entre el petróleo y el entorno.

OilFlow2D considera la siguiente formulación para representar la transferencia de calor entre el petróleo y el entorno.

- Radiación ambiental (petróleo→entorno):
- Radiación térmica solar recibida (sol→petróleo): calculada en función de la radiación extraterrestre (R_0), atenuada por la transmisión atmosférica (at), la nubosidad (ac), el sombreado (cs) y la reflexión (cr).
- Transferencia por convección entre el petróleo y el suelo.
- Transferencia por convección entre el petróleo y el aire.

El modelo de transferencia de calor considera la convección del aire, la radiación incidente y la radiación emitida. Los mecanismos de transferencia de calor actúan como intercambios de calor paralelos entre la superficie del fluido y el entorno, que pueden expresarse como

$$S_T = \frac{\dot{Q}}{\rho h C_p} = \frac{\dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{em}}{\rho h C_p}$$

La transferencia de calor por radiación entre el petróleo y el aire se calcula mediante la ecuación de Stefan-Boltzmann:

$$\dot{Q}_{em} = \varepsilon \sigma (T^4 - T_{air}^4)$$

donde ε es la emisividad de la superficie del petróleo (se supone 0.55), $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^{-4})$ es la constante de Stefan-Boltzmann y T_{air} es la temperatura del aire. La convección del aire se calcula en función de la diferencia entre las temperaturas del fluido y del aire, T y T_{air} [K], y de un coeficiente de convección, h_c :

$$\dot{Q}_{conv} = h_c (T - T_{air})$$

en términos del coeficiente convectivo de transferencia de calor h_c [Wm⁻²K], que introduce el efecto del movimiento del aire. Puede relacionarse con el número de Nusselt para establecer la importancia de la transferencia de calor por convección frente a la conducción:

$$Nu = \frac{h_c L}{k} (T - T_{air})$$

donde L [m] es una longitud característica y k [W m/K] es la conductividad térmica.

En el modelo, h_c se calcula en función de la velocidad del viento:

$$h_c = 8.55 + 2.56 \cdot U_w$$

Por último, la radiación incidente, $\dot{Q}_{rad}$, puede obtenerse a partir de datos medidos y se requiere en el modelo como parámetro de entrada.

5.4 Retención de petróleo

La retención de petróleo es un fenómeno en el que la velocidad de la fase de petróleo se reduce significativamente debido a su interacción con el suelo o la vegetación. Esta retención se produce por una combinación de adsorción, atrapamiento capilar en los espacios porosos y aumento de la resistencia viscosa, lo que reduce la movilidad del petróleo y prolonga su tiempo de permanencia en el subsuelo. En este contexto, la atención se centra en la resistencia viscosa entre el flujo de petróleo y el suelo. Para modelar este proceso se utiliza el enfoque Simple Shear Infinite Landslide . En este modelo, el esfuerzo cortante se equilibra con la componente de la fuerza gravitatoria en la dirección horizontal del flujo (véase la Figura). Este esfuerzo cortante reduce la cantidad de movimiento en la dirección del flujo de petróleo. Sin embargo, este esfuerzo cortante solo afecta a la capa delgada más cercana al fondo. Por ello, debe definirse una profundidad del petróleo, $h_{retention}$, como el espesor de esta capa. Por tanto, el esfuerzo cortante causado por este fenómeno, $\tau_{retention}$, en la interfaz suelo-petróleo puede expresarse como:

$$\tau_{retention} = \rho g h_{retention} \sin(\theta)$$

donde μ es la viscosidad del petróleo, ρ es la densidad del petróleo, g es la aceleración gravitatoria y θ es el ángulo de la pendiente del fondo (véase la Figura). Con esta expresión pueden darse los siguientes casos:

- **Caso con pendiente** ($S_0 = tg(\theta)$): En este caso, el esfuerzo cortante se define mediante la expresión , y la velocidad se considera cero cuando la profundidad del petróleo es $h \leq h_{retention}$.
- **Caso sin pendiente** ($S_0 = 0$, $\theta = 0$): En este caso, utilizando la expresión , $\tau_{retention} = 0$. Por tanto, la retención de petróleo se produce imponiendo una velocidad de flujo de petróleo igual a cero cuando $h \leq h_{retention}$.

Es importante observar que la profundidad de retención del petróleo, $h_{retention}$, representa la profundidad mínima para el flujo de petróleo. En consecuencia, la velocidad de las celdas con una profundidad de petróleo menor que $h_{retention}$ será cero. Por esta razón, los valores de $h_{retention}$ deben ser del orden de milímetros.

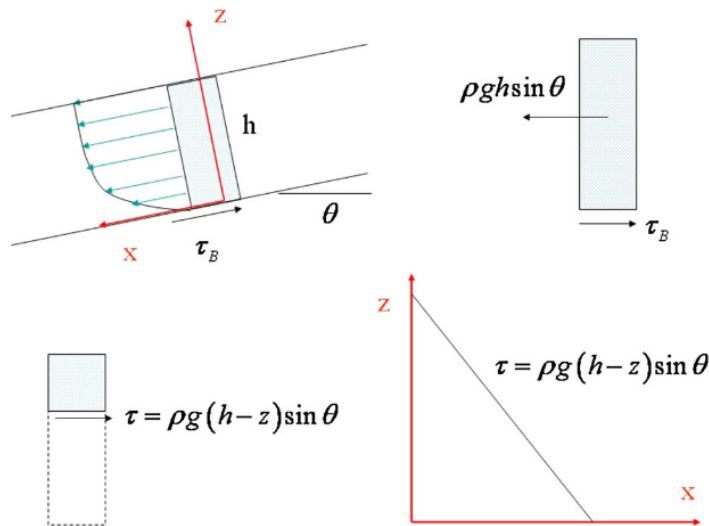


Figura 5.1 – Esquema del enfoque Shear Infinite Landslide.

5.5 Ecuaciones del hidrograma de derrame por rotura de tubería

El modelo Oil Pipeline Break de OilFlow2D para QGIS prepara un archivo de múltiples fuentes y un hidrograma de caudal para cada punto de rotura de tubería generado. El cálculo se realiza antes de la simulación de OilFlow2D; los archivos de hidrograma resultantes son leídos posteriormente por el modelo como series temporales de fuentes para la simulación del derrame de petróleo sobre terreno. Las ecuaciones siguientes resumen el cálculo utilizado por el módulo de tuberías.

Para un diámetro de tubería D_p y un diámetro de fuga D_l , las áreas de la tubería y de la fuga son

$$A_p = \frac{\pi D_p^2}{4}$$

$$A_l = \frac{\pi D_l^2}{4}$$

La aceleración gravitatoria es $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$ cuando el proyecto utiliza unidades métricas, o $g = 32.174 \text{ ft/s}^2$ cuando utiliza unidades inglesas. El coeficiente de pérdida de la fuga asociado al coeficiente de descarga introducido por el usuario C_d es

$$K_l = \frac{1}{C_d^2} - 1$$

5.5.1 Altura inicial estacionaria de la tubería

El módulo calcula primero una altura de energía estacionaria a lo largo de la tubería a partir del caudal inicial Q_0 y de la altura de presión inicial introducida en el extremo de la tubería. Si z_n es la elevación en el extremo aguas abajo y H_{end} es la altura de presión introducida en ese extremo, la altura de energía aguas abajo es

$$h_n = z_n + H_{end}$$

Al desplazarse aguas arriba por segmentos, la altura de energía se actualiza como

$$h_i = h_{i+1} + \frac{f_i \Delta x_i}{2g D_i A_i^2} Q_0^2$$

donde h_i es la altura de energía en el nodo i , Δx_i es la longitud del segmento, D_i es el diámetro de la tubería, A_i es el área de la tubería y f_i es el factor de fricción de Darcy-Weisbach. El número de Reynolds utilizado para cada segmento es

$$Re_i = \frac{|Q_0| D_i}{A_i \nu}$$

donde ν es la viscosidad cinemática. Para flujo laminar, el factor de fricción es

$$f_i = \frac{64}{Re_i}$$

Para flujo turbulento, el módulo resuelve la relación de Colebrook mediante iteración de Newton-Raphson:

$$\frac{1}{\sqrt{f_i}} = -0.86 \ln \left(\frac{e_i}{3.71 D_i} + \frac{2.51}{Re_i \sqrt{f_i}} \right)$$

donde e_i es la rugosidad de la tubería. Si está habilitada la opción del diálogo para calcular el coeficiente de fricción a partir de la rugosidad, este cálculo de fricción también se utiliza en las ecuaciones de drenaje del derrame. De lo contrario, para el paso de drenaje del derrame se utiliza el coeficiente de fricción introducido por el usuario.

5.5.2 Flujo de fuga aguas arriba

Para cada rotura, la altura de presión utilizada en la rotura es

$$h_p = h_b - z_b$$

donde h_b es la altura de energía calculada en la rotura y z_b es la elevación de la rotura. El caudal de fuga aguas arriba en cada paso de tiempo se calcula mediante la ecuación del orificio:

$$Q_l = C_d A_l \sqrt{2gh_p}$$

El intervalo de cálculo es Δt . La entrada desde la tubería aguas arriba de la rotura es inicialmente Q_0 . Si t_s es el tiempo de inicio del cierre de la válvula y t_c es la duración del cierre, el módulo utiliza

$$Q_{in}(t) = \begin{cases} Q_0, & t \leq t_s \\ Q_0 \left(1 - \frac{t-t_s}{t_c}\right), & t_s < t \leq t_s + t_c \\ 0, & t > t_s + t_c \end{cases}$$

En cada paso de tiempo, el volumen fugado, el volumen entrante y el volumen neto saliente son

$$V_l = Q_l \Delta t$$

$$V_{in} = Q_{in} \Delta t$$

$$V_{net} = V_l - V_{in}$$

El volumen disponible de tubería aguas arriba V_a se reduce en función del volumen neto saliente. Mientras quede volumen disponible, la altura de presión se reduce en proporción al volumen restante:

$$V_a^{new} = V_a - V_{net}$$

$$h_p^{new} = h_p \frac{V_a^{new}}{V_a}$$

Cuando se agota el volumen disponible, la altura de presión aguas arriba se establece en cero y termina la contribución aguas arriba.

5.5.3 Drenaje gravitatorio aguas abajo

Se supone que la parte aguas abajo de la tubería drena por gravedad desde el volumen de tubería situado aguas abajo de la rotura. Para la longitud aguas abajo contribuyente L_a , el volumen disponible es

$$V_a = L_a A_p$$

La pendiente local de la tubería utilizada para bajar la superficie del petróleo durante el drenaje es

$$m = \frac{|z_s - z_b|}{L_a}$$

donde z_s es la elevación al final del segmento contribuyente. En cada paso de tiempo el módulo resuelve la forma cuadrática

$$AQ_l^2 + BQ_l + C = 0$$

con

$$A = \frac{8}{g\pi^2} \left(\frac{1 + K_l}{D_l^4} - \frac{1}{D_p^4} \right)$$

$$B = fL_a$$

$$C = \frac{P_l - P_s}{\rho g} + z_b - z_s$$

donde ρ es la densidad del petróleo, P_l es la presión en la fuga y P_s es la presión en el extremo aguas arriba del segmento contribuyente. Para el drenaje gravitatorio aguas abajo, el módulo utiliza presión manométrica cero, por lo que el término de presión normalmente es cero. El caudal correspondiente a la raíz positiva es

$$Q_l = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

El caudal de fuente escrito en el hidrograma del derrame es Q_l . Para la actualización interna del volumen de tubería aguas abajo, el módulo también calcula un término de flujo aguas abajo Q_o cuando existe una contribución activa de un contorno aguas abajo o de una válvula; en caso contrario $Q_o = 0$. El volumen neto retirado del volumen de tubería contribuyente aguas abajo es

$$V_{net} = (Q_l - Q_o)\Delta t$$

y el volumen aguas abajo restante y la longitud contribuyente se actualizan como

$$V_a^{new} = V_a - V_{net}$$

$$L_a^{new} = \frac{V_a^{new}}{A_p}$$

La elevación de la superficie del petróleo utilizada en el paso de tiempo siguiente se reduce en

$$z_s^{new} = z_s - m \frac{V_{net}}{A_p}$$

El hidrograma aguas abajo termina cuando el volumen de tubería restante deja de cambiar más allá de la tolerancia del módulo.

5.5.4 Hidrograma de fuente combinado

Para cada punto de rotura, los hidrogramas aguas arriba y aguas abajo se combinan por paso de tiempo:

$$Q_{source}(t) = Q_{upstream}(t) + Q_{downstream}(t)$$

El hidrograma combinado se escribe como la serie temporal de fuente referenciada por el archivo de múltiples fuentes. OilFlow2D aplica cada fuente como una entrada puntual en las coordenadas de rotura generadas.

5.6 Solución numérica de volúmenes finitos

Para introducir el esquema de volúmenes finitos, se integra en un volumen o celda de cuadrícula 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 la normal unitaria 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 (Figura) y una formulación ascendente y unificada de los flujos y términos fuente,

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

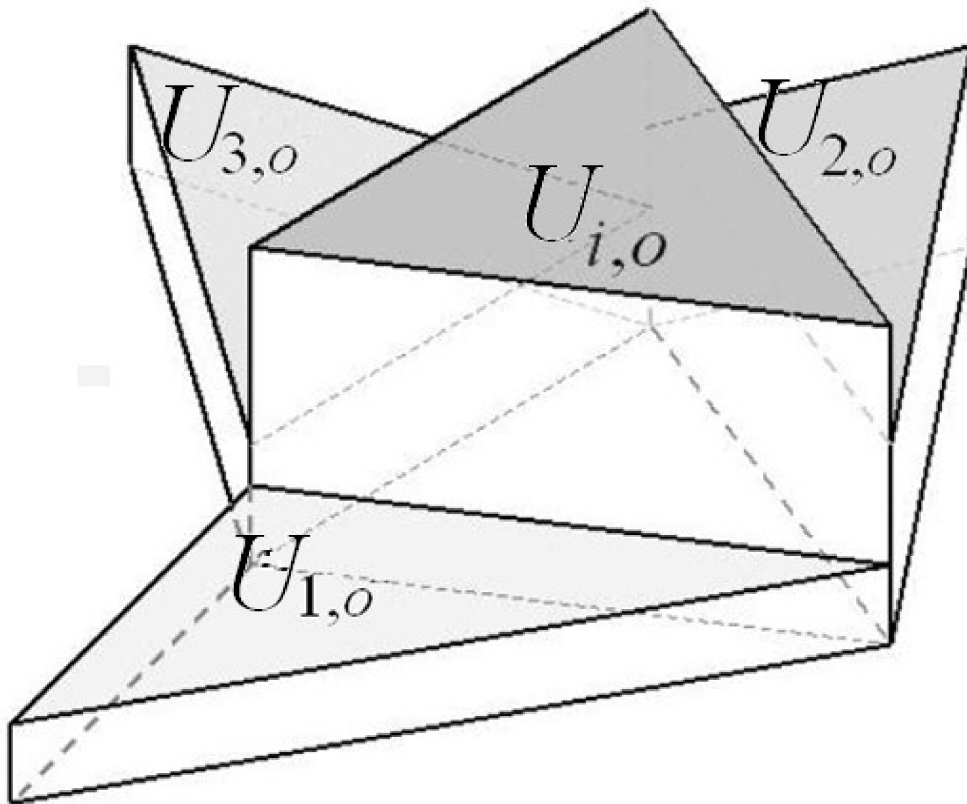


Figura 5.2 – Representación uniforme por tramos de las variables de flujo.

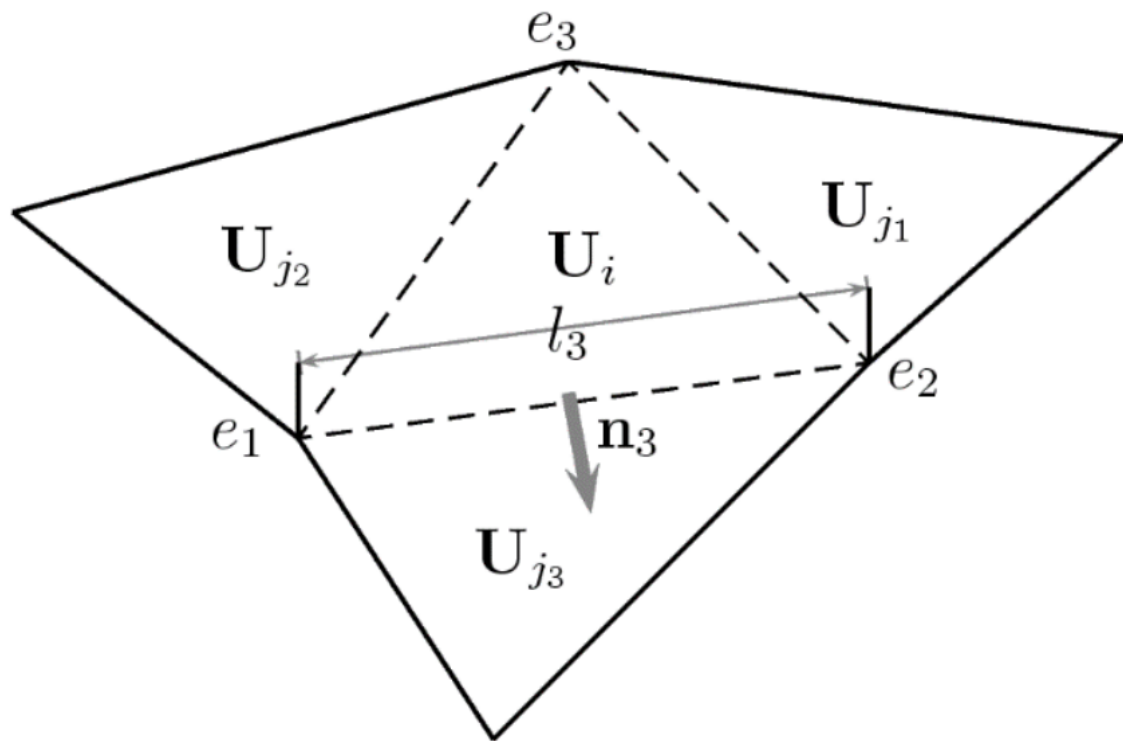


Figura 5.3 – Parámetros de la celda.

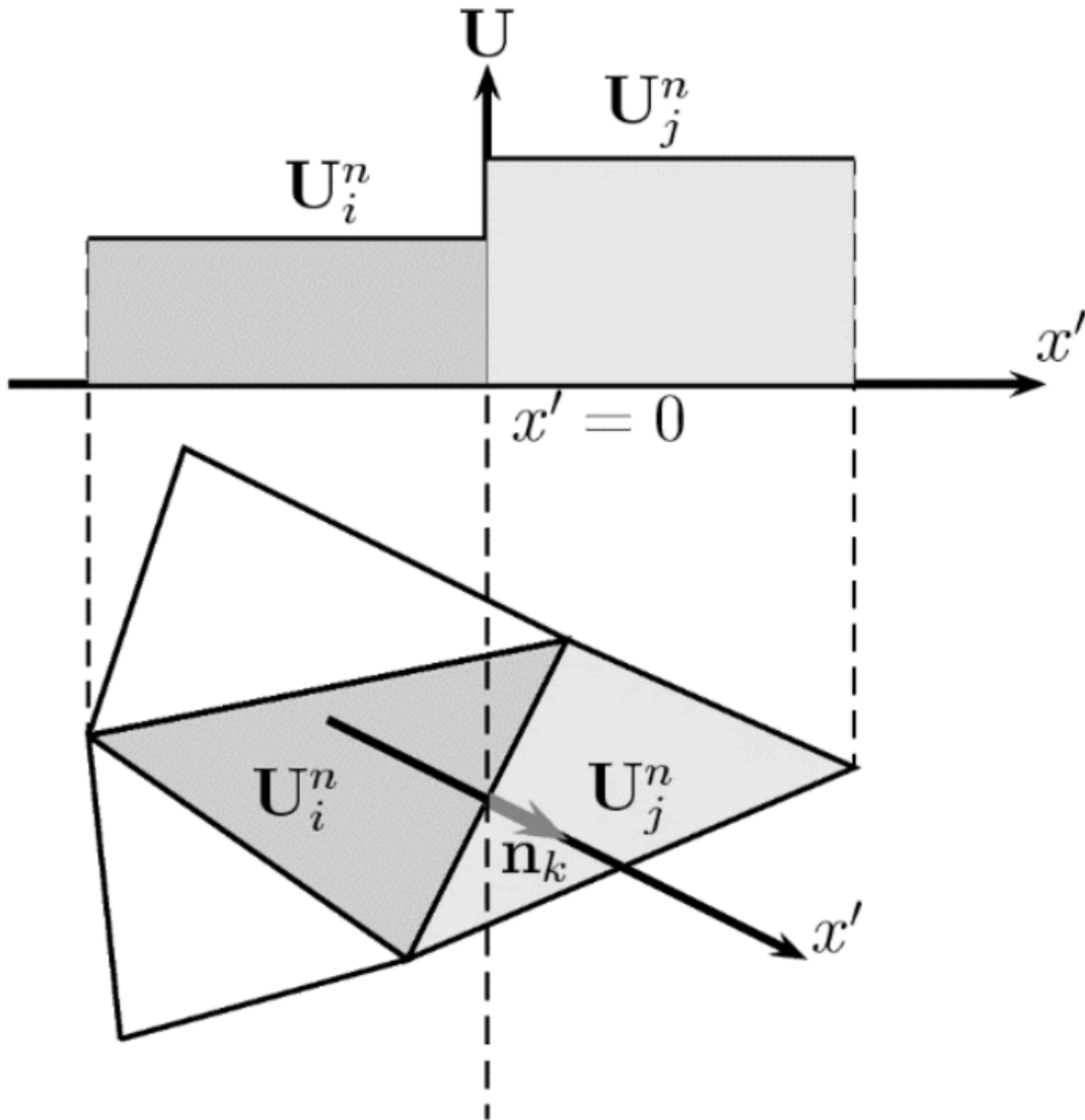


Figura 5.4 – Parámetros de la celda.

La solución aproximada puede definirse utilizando una matriz jacobiana aproximada $\tilde{\mathbf{J}}_{n,k}$ del flujo normal no lineal $\mathbf{E}_n$ 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 mediante los eigenvectores de la jacobiana, que hacen diagonal a $\tilde{\mathbf{J}}_{n,k}$:

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

donde $\tilde{\Lambda}_k$ es una matriz diagonal con los eigenvalores $\tilde{\lambda}_k^m$ 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 cuadrícula como el término fuente se

proyectan sobre la base de eigenvectores de la matriz:

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

donde $\mathbf{A}_k = (\alpha^1, \alpha^2, \alpha^3)_k^T$ contiene el conjunto de intensidades de onda y $\mathbf{B} = (\beta^1, \beta^2, \beta^3)_k^T$ contiene las intensidades de 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 insertarse en produce un método de Godunov explícito de primer orden:

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

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

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

puede reescribirse como

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

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

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

con

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

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

5.6.1 Optimizaciones numéricas

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

La solución aproximada siempre se construye como una suma de saltos o choques, incluso en casos que implican rarefacciones. Un problema ampliamente descrito de los solucionadores linealizados es la violación de entropía en rarefacciones sónicas, que produce valores negativos de profundidad en las ecuaciones de aguas someras, incluso en ausencia de término fuente. La solución se restablece 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 aproximadas de los RP es clave para construir correcciones apropiadas que eviten resultados no físicos. En se mostró cómo pueden evitarse los errores de los enfoques integrales aplicados a los términos fuente imponiendo restricciones basadas en la física sobre la solución aproximada. Simplemente modificando los coeficientes de intensidad de fuente β , se restablecen las soluciones correctas cuando es necesario.

5.6.2 Región de estabilidad

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

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

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

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

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

El método de solución de OilFlow2D utiliza pasos de tiempo variables. El paso de tiempo máximo permitido está controlado por el número de Courant-Friederich-Lewy (CFL) establecido por el usuario, que es proporcional al tamaño local de la celda, pero también inversamente proporcional a la velocidad y la profundidad. Las celdas más pequeñas producen pasos de tiempo más pequeños. El valor teórico máximo de CFL es 1, pero en algunas ejecuciones puede ser necesario reducir este número a valores inferiores.

5.7 Condiciones de contorno abiertas

En OilFlow2D pueden utilizarse dos tipos principales de condiciones de contorno: contornos abiertos, donde el flujo puede entrar o salir del área de modelación, y contornos cerrados, que son paredes sólidas sin flujo (véase la Figura). No hay restricción en el número de contornos de entrada o salida. Esta sección describe las condiciones de contorno abiertas.

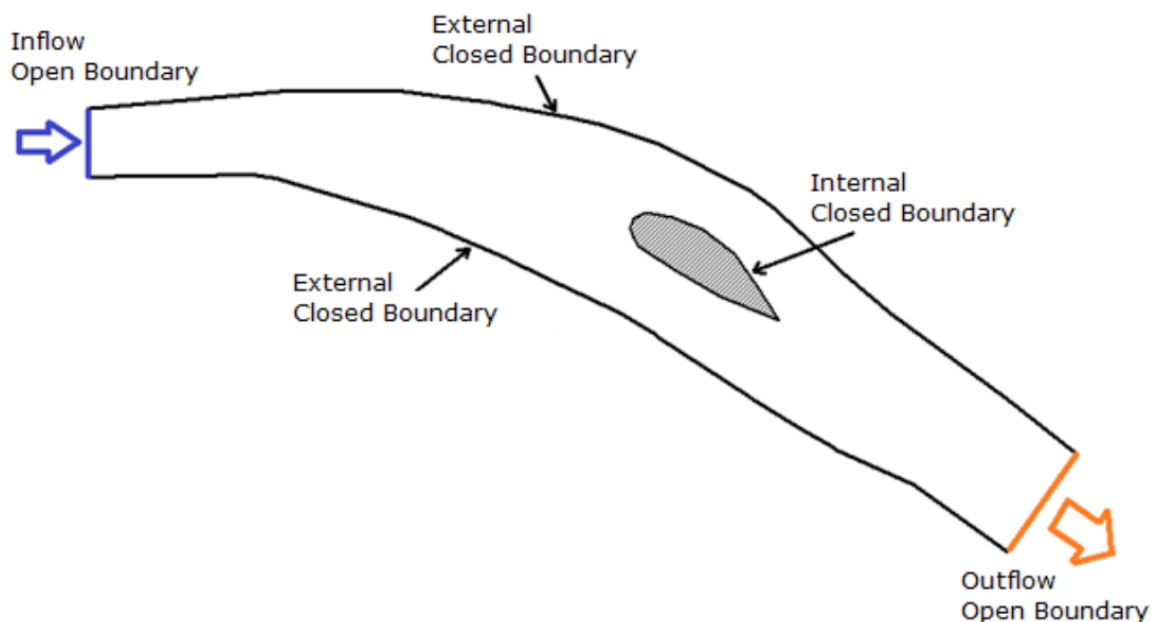


Figura 5.5 – Condiciones de contorno abiertas y cerradas.

OilFlow2D permite cualquier número de contornos de entrada y salida con diversas combinaciones de condiciones impuestas. El uso correcto de estas condiciones es un componente crítico de una simulación de OilFlow2D exitosa. La teoría de las ecuaciones de aguas someras indica que, para un flujo bidimensional subcrítico, es necesario proporcionar al menos una condición en los contornos de entrada y una en los de salida. Para un flujo supercrítico, deben imponerse todas las condiciones en los contornos de entrada y no debe imponerse ninguna condición de contorno en los contornos de salida. La tabla siguiente ayuda a determinar qué condiciones utilizar en la mayoría de las aplicaciones.

- **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 donde se prescriba la superficie del agua o una relación nivel-caudal (por ejemplo, Flujo uniforme). Tener solo una condición de caudal y ninguna condición de elevación de la superficie del agua puede provocar inestabilidades debido a la violación de los requisitos teóricos de las condiciones de contorno de las ecuaciones de aguas someras.

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

& Impone la elevación de la superficie del agua. Debe proporcionarse un archivo de condición de contorno asociado.

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

superficie del agua, pero solo se permite el flujo hacia fuera de la malla. - **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 condición 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 condición de contorno asociado.

Nota

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

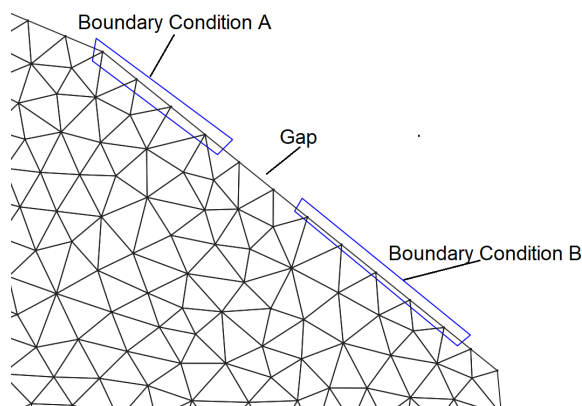


Figura 5.6 – Hueco requerido entre condiciones de contorno abiertas adyacentes.

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

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

5.7.1.1 Caudal de agua convertido en velocidades (BCTYPE 6)

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

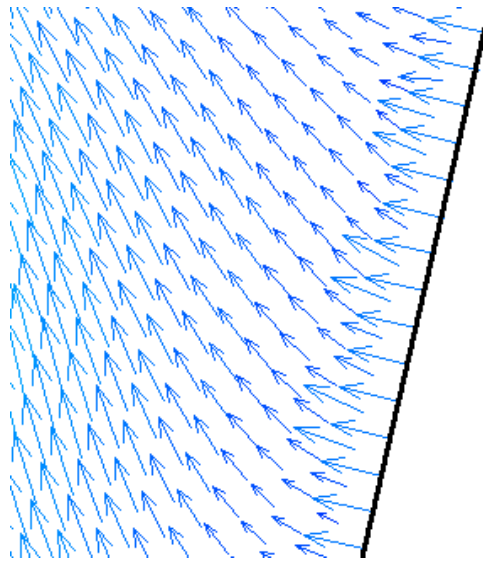


Figura 5.7 – Caudal de entrada de agua impuesto como velocidades (BCTYPE 6).

5.7.2 Tabla de aforo de caudal (BCTYPE 9)

Al utilizar una condición nivel-caudal de valor único, el modelo calcula primero el caudal en el contorno, interpola la elevación correspondiente de la superficie del agua a partir de la tabla de aforo e impone ese valor en el siguiente paso de tiempo. 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 las entradas de los valores de la tabla. Consulte la sección correspondiente para conocer el formato del archivo.

Dado que estas condiciones pueden 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. Desafortunadamente, no existe una forma general de seleccionar esa ubicación, por lo que será necesario experimentar numéricamente con el modelo real para obtener una ubicación razonable.

Nota

En la mayoría de los ríos con poca pendiente, la relación nivel-caudal está afectada por la histéresis. En otras palabras, la curva nivel-caudal forma un bucle, con caudales mayores en la rama ascendente que en la rama de descenso del hidrograma. Esto se debe principalmente al gradiente de profundidad en la dirección del flujo, que cambia de signo a lo largo del hidrograma. En la práctica, esto implica que puede haber dos niveles posibles para el mismo caudal. Las relaciones nivel-caudal en bucle no se consideran en esta versión de OilFlow2D.

5.7.3 Contornos abiertos de condición “Free” (BCTYPE 10, 11)

En los contornos de condición libre, el modelo calcula las velocidades y las elevaciones de la superficie del agua aplicando las ecuaciones completas a partir de las celdas internas. En la práctica, esto equivale a suponer que las derivadas de las elevaciones de la superficie del agua y de las

velocidades son 0. En situaciones de flujo subcrítico, 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 salida y la entrada de agua, mientras que BCTYPE 11 solo permite el flujo fuera de la malla.

5.7.4 Condición de contorno de flujo uniforme (BCTYPE 12)

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

5.7.5 Implementación numérica de los contornos abiertos

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

En las celdas que forman la región de caudal de entrada, el flujo se caracteriza por el signo negativo del siguiente producto escalar en los 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 habitualmente 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 como en es mayor que uno, el flujo es supercrítico y todos los eigenvalores siguientes son negativos:

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

por lo que deben imponerse los valores de h , u , v y ϕ . La concentración de soluto del agua ϕ es independiente de los eigenvalores 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 eigenvalores siguientes son positivos:

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

por consiguiente, no se requiere información adicional.

Cuando el estado del flujo es subcrítico tanto en la región de caudal de entrada como en la de salida, la información de actualización no está completa. Lo mismo ocurre en los bordes de celda que actúan como paredes sólidas que el flujo no puede atravesar. Habitualmente, la información adicional proporcionada aguas arriba y aguas abajo son funciones de caudal. En los contornos sólidos se define una función de caudal normal igual a cero.

Determinar si una entrada o salida es supercrítica o subcrítica no es sencillo en una malla 2D. Una caracterización del régimen de flujo del contorno basada en celdas conduce a situaciones complicadas desde los puntos de vista físico y numérico. Por otra parte, las condiciones de contorno físicas o externas suelen referirse a magnitudes medias, como el nivel de la superficie del agua o el caudal total, que deben traducirse en profundidad o velocidad del agua en cada celda según el criterio del usuario. Para tratar estas situaciones, se requiere una conexión adecuada entre los modelos bidimensionales y unidimensionales en los contornos abiertos. El número de Froude de la sección se define cuando 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 $w = Q/S_T$, y definiendo la sección transversal total mojada S_T y la anchura 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.

5.7.5.1 Contorno de caudal de entrada

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

5.7.5.2 Casos sencillos

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

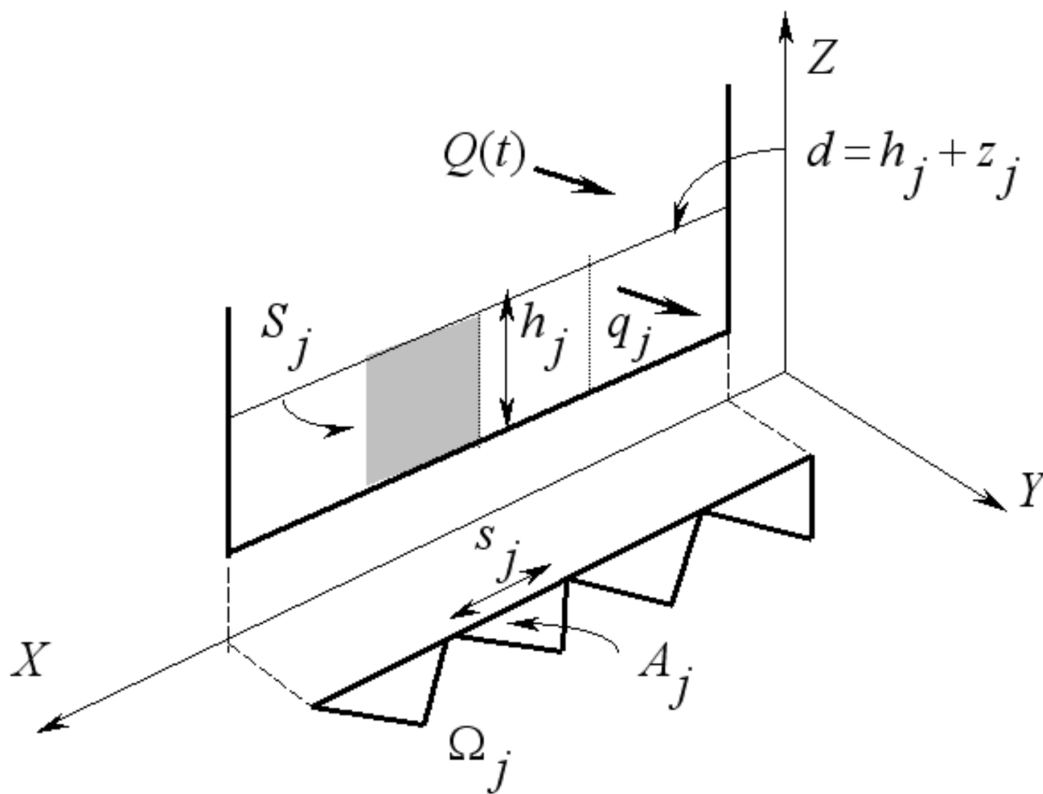


Figura 5.8 – Sección transversal rectangular de entrada.

El caudal total de entrada en el instante t , $Q_I(t)$, puede distribuirse a lo largo de la sección transversal de entrada utilizando un caudal constante por unidad de anchura, $q_I(m^2 s^{-1})$, 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 tenerse en cuenta 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.

5.7.5.3 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/llenado), y también cambia el número de celdas de contorno implicadas (Figura).

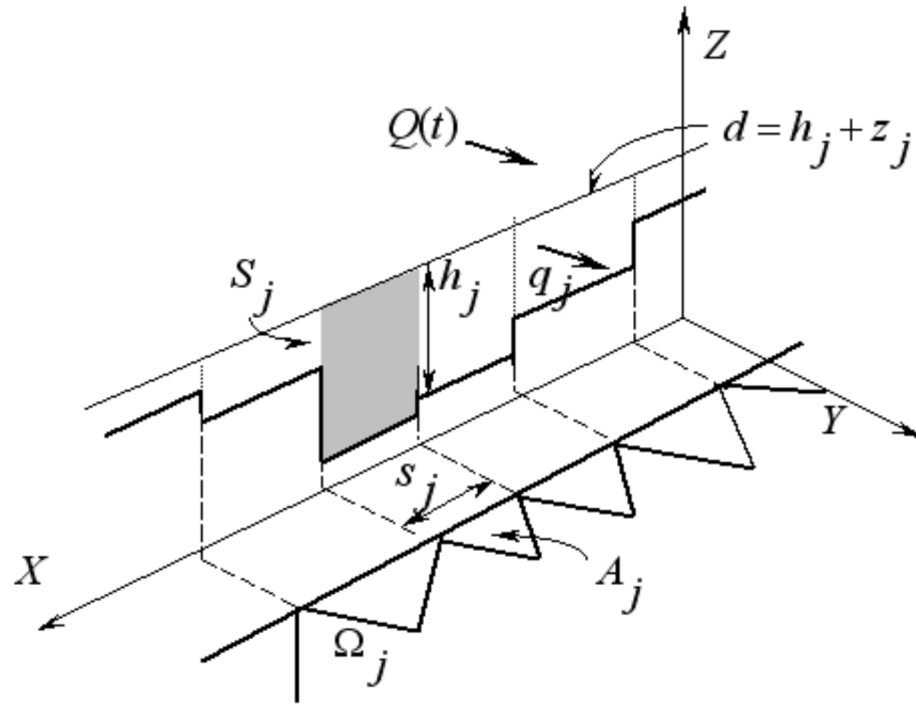


Figura 5.9 – Sección transversal irregular de entrada.

Al trabajar con secciones de entrada como la de la Figura , un valor uniforme de q_I como el indicado en produce 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 del agua 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 en cada celda de contorno j es variable y se define en función del área total de la sección transversal, S_T , y del área transversal individual de la celda, S_j :

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

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

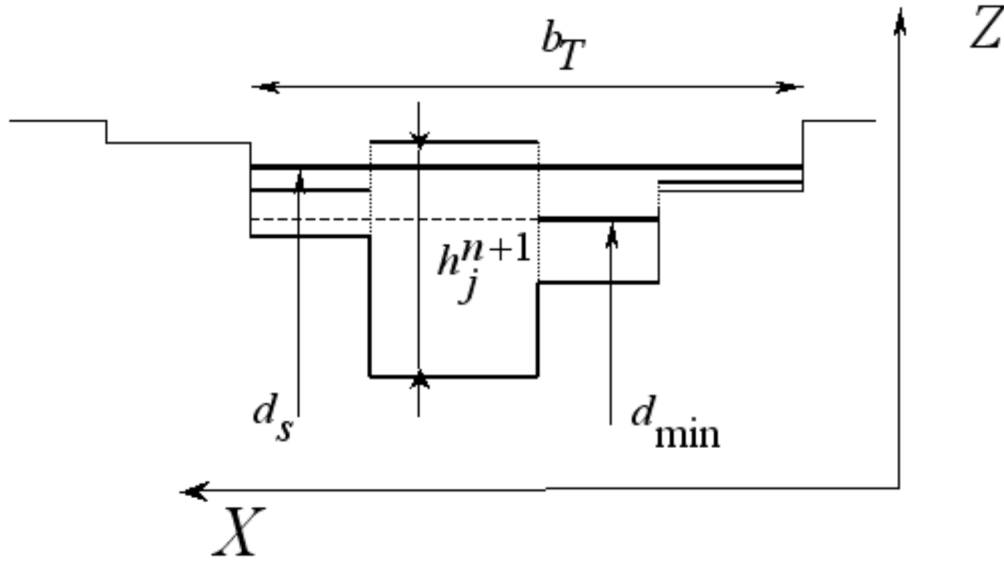


Figura 5.10 – Evaluación de d_{min} .

Para nuestros fines, se requiere un nivel horizontal de la superficie del agua en esa región, con el fin de facilitar la traducción entre los puntos de vista 2D y 1D en el contorno abierto. El valor de ese nivel uniforme de 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 se define la superficie mojada por encima de ese nivel, A_w :

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

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

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

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 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 en función del tiempo y, por lo general, no se dispone de datos sobre la distribución del nivel del agua ni sobre la dirección del caudal en el contorno de entrada.

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

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

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

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

Si S_T^* es mayor que S_T , proporciona un nuevo nivel de la superficie del agua para la sección de entrada, d^* , también mayor que d_s (Figura). 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 de integración temporal discreta utilizado, este procedimiento no sigue el criterio de conservación de masa. Para garantizar que se conserve el balance de masa, se impone una de las condiciones y se modifica la otra, de modo que los flujos calculados en el paso siguiente conduzcan a la conservación de la masa. La mejor solución consiste en imponer directamente el nivel global de la superficie del agua en la sección de entrada, $d(t)$, y adaptar el caudal de entrada discreto para garantizar que se conserve el volumen final. El valor impuesto de d establece un volumen de entrada que puede transformarse en caudal dividiéndolo por el paso de tiempo. Este valor se suma al caudal y conduce a un balance de masa correcto.

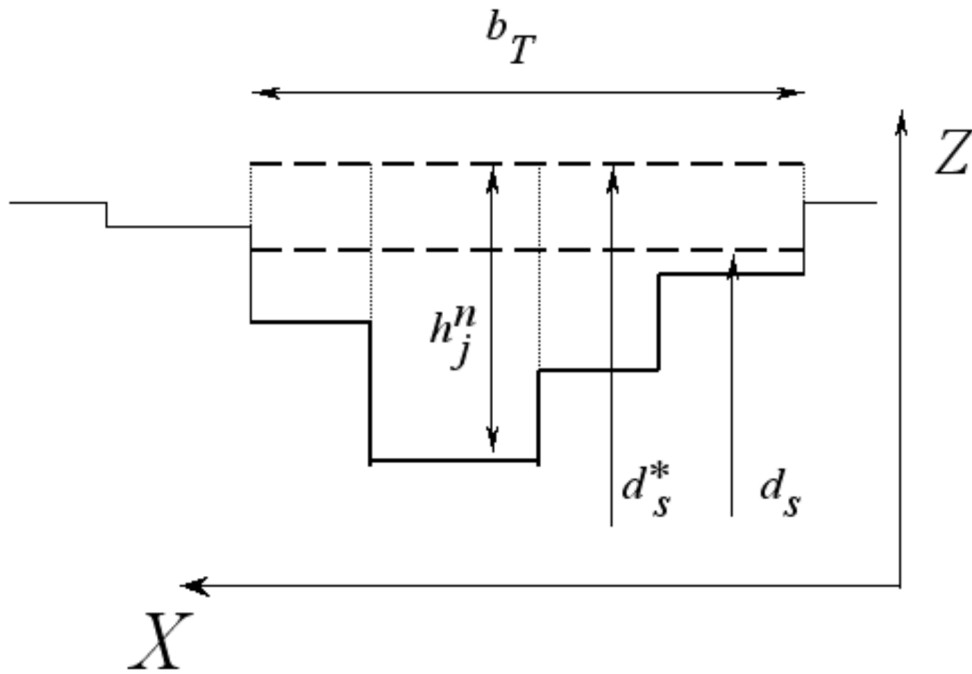


Figura 5.11 – Nuevo nivel de agua para la sección de entrada.

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 utilizando 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 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.

5.7.5.4 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 OilFlow2D 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 ninguna condición externa. En caso contrario, todas las celdas están en estado subcrítico y reciben un tratamiento análogo al del contorno de entrada descrito anteriormente. Como antes, se genera un nivel uniforme de agua en la sección transversal y se establece una distribución de velocidades cuando la condición de contorno es una curva de aforo de caudal.

5.7.6 Contornos cerrados

Los contornos cerrados son paredes rígidas o sólidas que bloquean completamente el flujo, como las orillas de los ríos o las islas. Constituyen paredes verticales que el flujo nunca puede sobrepasar. Cerca de estos contornos aparece una subcapa viscosa muy fina que requeriría celdas extremadamente pequeñas para resolverse adecuadamente. OilFlow2D utiliza una condición de deslizamiento en los contornos cerrados y establece un flujo normal nulo a través del contorno, pero permite velocidades tangenciales. OilFlow2D 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 sobre 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 a la pared sólida (Figura). En otras palabras, si el contorno está cerrado, el borde de contorno asociado k_Γ es una pared sólida, con una componente de velocidad normal igual a cero. 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 $\delta \mathbf{M}_{i,k_\Gamma}^- = 0$.

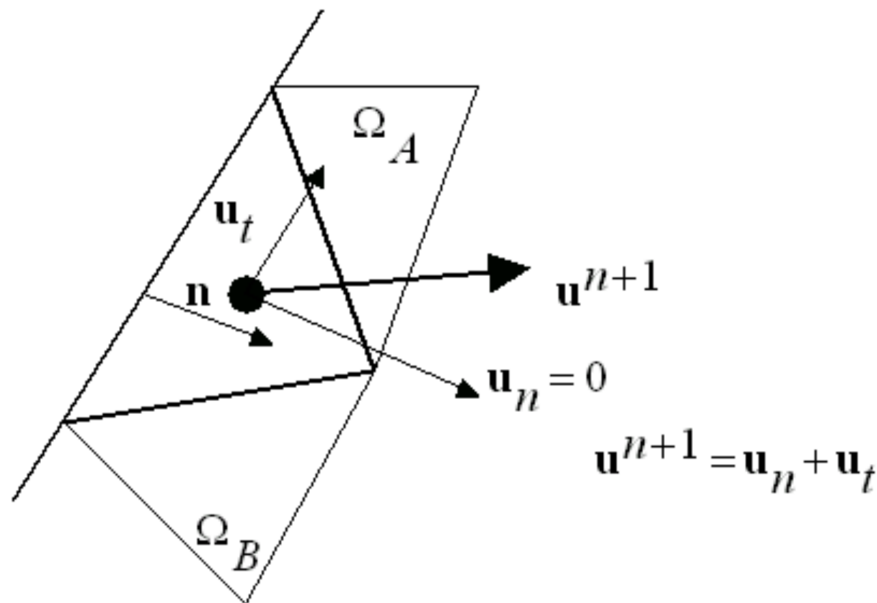


Figura 5.12 – Condición de pared sólida.

5.8 Modelación de celdas secas/mojadas

OilFlow2D puede simular el secado y el llenado del fondo. Esta capacidad es importante al simular la progresión de una onda de inundación por un canal inicialmente seco. En este caso se inundarán tanto el fondo del canal como la llanura de inundación. El fondo del canal también puede volver a secarse cuando retrocede la onda de inundación.

En OilFlow2D, la malla de celdas triangulares puede cubrir áreas secas y mojadas, y el modelo tratará estas condiciones mediante dos algoritmos distintos según la siguiente clasificación de celdas.

5.8.1 Definiciones de celdas basadas en 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 la actualización de las variables en ambos lados. La situación denominada seca/mojada se produce en un borde de celda cuando se cumplen todas las condiciones siguientes:

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

El procedimiento que debe seguirse en ese caso se describe detalladamente en.

El algoritmo de secado y llenado de OilFlow2D 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 sus 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 de celdas secas/mojadas se calculan suponiendo que el borde es un contorno sólido y que las velocidades a ambos lados son cero.
5. El resto de las contribuciones de los bordes de celda se calcula según el esquema numérico descrito anteriormente.
6. Las celdas mojadas y las celdas secas rodeadas por al menos una celda mojada se mantienen en el cálculo y se resuelven mediante el esquema de actualización utilizando las contribuciones de los bordes de celda.

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

5.9 Conservación del volumen

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

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

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

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

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 instante $t + \Delta t$:

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

con la cantidad total de agua existente en el instante t :

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

de la siguiente manera:

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

Esto suele expresarse en términos relativos:

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

5.10 Coeficientes de rugosidad de Manning's n

El valor de Manning's n , utilizado habitualmente para estimar las pérdidas de carga en canales y ríos, es una medida global que tiene en cuenta no solo los efectos de la rugosidad del fondo, sino también la fricción interna y 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, las estimaciones de Manning's n aplicables a modelos 1D deben ajustarse, porque las ecuaciones de los modelos 2D consideran el intercambio bidimensional de cantidad de movimiento dentro de la sección transversal, que en la simplificación 1D se concentra en un único término. Varios investigadores han comprobado en aplicaciones prácticas de modelos 2D que los valores de n requeridos pueden ser un 30% menores que los utilizados normalmente para modelos 1D en el mismo tramo de río (Belleudy, 2000). Sin embargo, los modelos 2D no tienen en cuenta la fricción lateral; por ello, la selección final de los coeficientes de Manning's n debe ser el resultado de un proceso de calibración en el que los resultados del modelo se ajusten a datos medidos.

6

Modelo de derrames de petróleo sobre el agua

La simulación de un derrame de petróleo es una tarea muy compleja en la que un gran número de factores interactuantes puede afectar la trayectoria y el destino del petróleo. La trayectoria y la propagación del petróleo son dos procesos fundamentales, ya que determinan las áreas que se verán afectadas.

El modelo de derrames de petróleo sobre el agua permite simular derrames de crudo en la superficie del agua mediante un enfoque tridimensional de seguimiento de partículas para representar la trayectoria del petróleo. El modelo también incluye algoritmos para considerar la evaporación, emulsificación, dispersión y disolución del petróleo, su interacción con las orillas y los cambios en sus propiedades causados por estos procesos.

Se pueden considerar múltiples derrames desde ubicaciones fijas seleccionadas por el usuario y también desde un barco en movimiento. El modelo puede incluir además barreras de contención que representan barreras físicas con niveles arbitrarios de eficiencia.

6.1 Algoritmo tridimensional de trayectoria del derrame de petróleo

La trayectoria de un derrame particular es fundamental, ya que determina el impacto del petróleo en las zonas costeras y otros ecosistemas sensibles. El enfoque lagrangiano de seguimiento de partículas utilizado en OilFlow2D calcula la trayectoria del petróleo suponiendo que este está formado por un número relativamente grande de partículas que se desplazan sobre un campo de velocidades precalculado.

Muchos modelos de derrames disponibles actualmente utilizan esquemas eulerianos que suelen presentar dificultades importantes, como oscilaciones espurias que conducen a una representación no física de los fenómenos. En lugar de utilizar ese enfoque euleriano, en el que la concentración del contaminante se calcula en ciertos puntos fijos, se eligió un enfoque lagrangiano para modelar

la propagación y trayectoria del petróleo sobre el agua, basándose en resultados experimentales e informes de datos de numerosos derrames. En este método, la masa derramada se representa mediante un número predeterminado N de partículas trazadoras. Este modelo de transporte, basado en conceptos de trazadores o lagrangianos, calcula las trayectorias de las partículas en un campo de flujo turbulento considerando la advección por el flujo y la dispersión del petróleo en la columna de agua.

La principal ventaja de esta técnica frente al método euleriano tradicional es la eliminación de la difusión *numérica*.

En la teoría de la turbulencia, la concentración de una sustancia puede representarse mediante un número finito de partículas que se mueven con la velocidad de su posición instantánea. Habitualmente se supone que la velocidad del agua puede expresarse como una velocidad media de flujo *advectiva* u_a más una fluctuación aleatoria de menor escala debida a la difusión turbulenta u_d .

Para calcular las trayectorias de las partículas, el modelo resuelve las siguientes ecuaciones diferenciales ordinarias:

$$\frac{dx_i}{dt} = u_{ai} + u_{di}$$

$$\frac{dy_i}{dt} = v_{ai} + v_{di}$$

$$\frac{dz_i}{dt} = w_{ai} + w_{di}$$

donde x_i, y_i , y z_i son las coordenadas de la partícula i , t es el tiempo, u_{ai}, v_{ai} , y w_{ai} son las velocidades del agua que advectan la partícula i en las direcciones x, y , y z , respectivamente, y u_{di}, v_{di} , y w_{di} son las velocidades de la partícula i debidas a la difusión en las direcciones x, y , y z , respectivamente.

Estas ecuaciones pueden resolverse mediante el método numérico de Euler de la siguiente manera:

$$x_i^{n+1} = x_i^n + \Delta x_i^n + \Delta x_i^{n'}$$

$$y_i^{n+1} = y_i^n + \Delta y_i^n + \Delta y_i^{n'}$$

$$z_i^{n+1} = z_i^n + \Delta z_i^n + \Delta z_i^{n'}$$

donde Δt es el intervalo de tiempo, x_i^{n+1}, y_i^{n+1} y z_i^{n+1} son las coordenadas de la partícula i en el tiempo $(n+1)\Delta t$, x_i^n, y_i^n y z_i^n son las coordenadas de la partícula i en el tiempo $n\Delta t$, y $\Delta x_i^n, \Delta y_i^n$ y Δz_i^n son los desplazamientos advectivos de la partícula definidos por:

$$\Delta x_i^n = u_{ai} \Delta t$$

$$\Delta y_i^n = v_{ai} \Delta t$$

$$\Delta z_i^n = w_{ai} \Delta t$$

y Δt es el intervalo de tiempo; $\Delta x_i^{n'}$, $\Delta y_i^{n'}$ y $\Delta z_i^{n'}$ son los desplazamientos de la partícula i debidos a las fluctuaciones aleatorias de velocidad, definidos como:

$$\Delta x_i^{n'} = u_{di} \Delta t$$

$$\Delta y_i^{n'} = v_{di} \Delta t$$

$$\Delta z_i^{n'} = w_{di} \Delta t$$

El campo advectivo horizontal (u_a, v_a) se calcula mediante el modelo de corrientes de agua, y la velocidad vertical w_d considera las fuerzas de flotación debidas a las diferencias de densidad entre el agua y el petróleo mediante la ley de Stokes y el perfil logarítmico de velocidad descrito a continuación.

Las velocidades aleatorias (u_d, v_d, w_d) debidas a la difusión se obtienen mediante muestreo de Monte Carlo en un intervalo de velocidades $[-U_r, U_r]$ proporcional al coeficiente de difusión. U_r se calcula de la siguiente manera. Suponiendo un movimiento browniano a gran escala, el coeficiente de difusión isotrópico D puede expresarse como:

$$D = \left(\frac{1}{2\tau} \int_{-\infty}^{+\infty} x^2 f(x) dx \right) / \left(\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx \right)$$

donde $f(x)$ es una distribución de probabilidad que determina el desplazamiento de la partícula x debido a las fluctuaciones aleatorias durante el tiempo τ . Puede demostrarse que la ecuación depende principalmente de la varianza de $f(x)$ y no de su forma específica. Por tanto, este modelo adopta una distribución *tophat* que permite establecer la relación entre ϵ y el intervalo de fluctuación de la velocidad de difusión $[-U_r, U_r]$ de la siguiente manera:

$$U_r = \sqrt{\frac{6D_x}{\Delta t}}$$

donde D_x es el coeficiente de difusión en la dirección x .

Puede realizarse una deducción análoga para obtener los intervalos de fluctuación de velocidad aleatoria en las direcciones y y z ($[-V_r, V_r]$, $[-W_r, W_r]$).

Para calcular la concentración de petróleo en un punto particular (x, y, z) , el modelo cuenta el número de partículas dentro de un volumen cúbico de control alrededor del punto. La concentración correspondiente a cada partícula es la concentración inicial dividida por el número de partículas utilizadas para representar el derrame.

Para calcular el espesor del petróleo Z , se utiliza la siguiente expresión:

$$Z = N(\Delta A) Z_p$$

donde $N(\Delta A)$ es el número de partículas contenidas en el área superficial de referencia ΔA , y Z_p es el espesor de partícula, definido como:

$$Z_p = \frac{V}{\Delta A N_p}$$

V es el volumen inicial del derrame y N_p es el número total de partículas utilizadas para representar

el petróleo.

6.1.1 Campo de flujo tridimensional 3D

Puesto que el componente hidrodinámico de OilFlow2D se basa en las ecuaciones bidimensionales de aguas someras, que proporcionan las velocidades promediadas en profundidad, en el modelo de derrames de petróleo sobre el agua de OilFlow2D la distribución vertical de la velocidad longitudinal se obtiene suponiendo un perfil logarítmico de velocidad. Esta suposición permite representar de forma aproximada el campo de flujo tridimensional.

$$U(z) = \frac{U_*}{\kappa} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)$$

donde $U(z)$ es la velocidad longitudinal a la elevación z

U_* es la velocidad de corte = $\sqrt{\tau_0/\rho}$

τ_0 es el esfuerzo cortante del fondo

ρ es la densidad del agua

κ es la constante de von Karman ≈ 0.41

z_0 es la longitud de fricción del fondo

6.1.2 Coeficientes de dispersión

La estimación adecuada de los coeficientes de dispersión es uno de los factores básicos que afectan a los derrames de petróleo, ya que determinan los intervalos de velocidad aleatoria y, en consecuencia, las trayectorias del petróleo.

La complejidad del proceso dinámico que gobierna la dispersión turbulenta en el agua y la dinámica de propagación justifican un enfoque empírico para estimar estos coeficientes. OilFlow2D puede estimar coeficientes de dispersión horizontales de modo que la propagación de partículas calculada con el esquema lagrangiano sea equivalente a la solución proporcionada por la formulación modificada de Mackay.

Con esta suposición, el coeficiente de propagación puede obtenerse sabiendo que $d\sigma^2/dt \propto dR/dt$, donde R representa el radio de la mancha circular. Además, para la propagación en 2D, la varianza y su derivada respecto al tiempo son $\sigma^2 = 4Dt$, $d\sigma^2/dt = 4D$ y $d\sigma^2/dt = dA/dt$.

La expresión resultante establece una relación entre la ley de propagación del petróleo y el coeficiente de dispersión D , como se muestra en la tabla siguiente, donde k_1 , k_2 y k_3 son constantes que dependen del régimen de propagación; según Fay: $k_1 = 1.14$, $k_2 = 1.45$ y $k_3 = 1.0$.

Regime	Slick radius	Dispersion coefficient
Gravity-Inertia	$\frac{k_1}{2} (\Delta g V t^2)^{1/4}$	$\frac{\pi k_1^2}{16} (\Delta g V)^{1/2}$
Gravity-Viscous	$\frac{k_2}{2} \left(\frac{\Delta g V^2 t^{3/2}}{\nu_w^{1/2}} \right)^{1/6}$	$\frac{\pi k_2^2}{32} \left(\frac{\Delta g V^2}{\nu_w^{1/2}} \right)^{1/3} \frac{1}{\sqrt{t}}$
Surface tension-Viscous	$\frac{k_3}{2} \left(\frac{\sigma^2 t^3}{\rho_w^2 \nu_w} \right)^{1/4}$	$\frac{3\pi k_3^2}{16} \left(\frac{\sigma}{\rho_w \nu_w^{1/2}} \right) \sqrt{t}$

6.1.3 Comparación con la solución analítica

El modelo de trayectoria del derrame de petróleo se comparó con una solución analítica tridimensional. La solución más sencilla corresponde a la liberación instantánea de una masa M de un soluto en un fluido estático no confinado en $t = 0$. La distribución de concentración resultante viene dada por (Crank):

$$c = \frac{M}{(4\pi t)^{3/2}(D_x D_y D_z)^{1/2}} \exp\left(-\frac{x^2}{4D_x t} - \frac{y^2}{4D_y t} - \frac{z^2}{4D_z t}\right)$$

La Figura 1.1 muestra la comparación del modelo con la solución analítica en el punto (0,5,0) para un derrame de 1000 m^3 en el origen de coordenadas (0,0,0). Los coeficientes de difusión fueron: $D_x = D_y = D_z = 1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Se realizaron distintas ejecuciones con un número de partículas entre 5.000 y 100.000. Obsérvese cómo, al aumentar el número de partículas, la solución numérica se aproxima a la analítica.

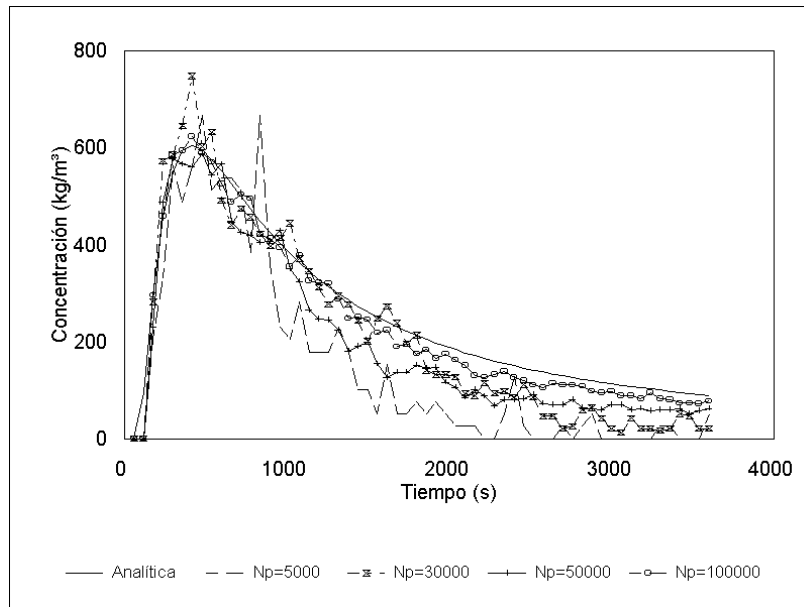


Figura 6.1 – Comparison of numerical and analytical solution for instantaneous spill for different number of particles N_p .

6.1.4 Comparación con experimentos

Para comprobar la validez del modelo y de las expresiones deducidas anteriormente para A_k y B_k , se realizaron experimentos de propagación de petróleo en un tanque de olas de laboratorio de 14 m de largo, 9 m de ancho y 0,60 m de profundidad, variando los tipos de petróleo, el volumen derramado, el período de las olas y su altura. Se probaron un total de treinta y cuatro derrames con crudos Victoria, Mesa y Lago Medio. Las tensiones interfaciales petróleo-agua y petróleo-aire se midieron en el laboratorio para cada muestra mediante un tensiómetro de anillo Fisher. La densidad y la viscosidad se midieron antes de cada prueba. Los detalles de estas pruebas se reportan en la referencia correspondiente.

La Figura 1.2 presenta la variación temporal del radio de la mancha circular medida con petróleo Mesa, así como los cálculos realizados con varias formulaciones. Puede observarse que la for-

mulación propuesta (Rf2) concuerda bien con los datos experimentales. Las fórmulas de mancha gruesa y delgada de Mackay difieren de los experimentos y de las otras formulaciones.

La Figura 1.3 presenta resultados similares para el petróleo Lago Medio. También se observa que, en este caso, la formulación propuesta (Rf2) concuerda muy bien con los datos experimentales, mientras que las fórmulas de mancha gruesa y delgada de Mackay se desvían de los resultados experimentales. Además, la formulación de mancha gruesa de Mackay subestima el radio de propagación en todas las pruebas realizadas en este estudio.

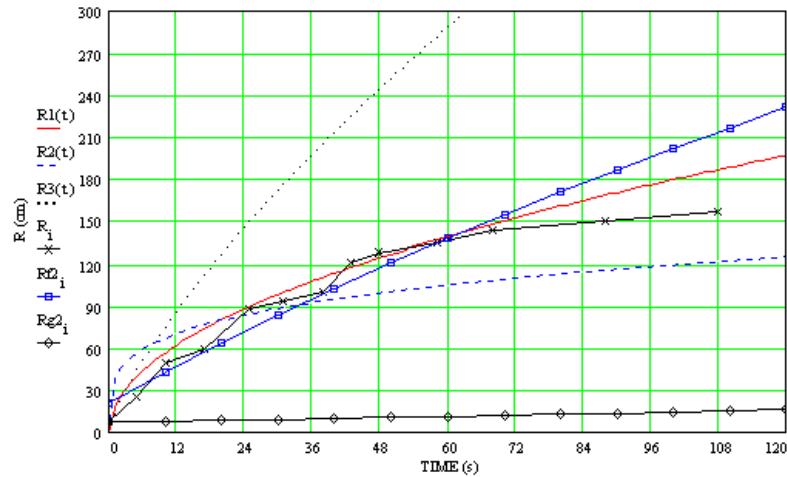


Figura 6.2 – Mesa oil spreading experiments. Mackay and OilFlow2D formulations.

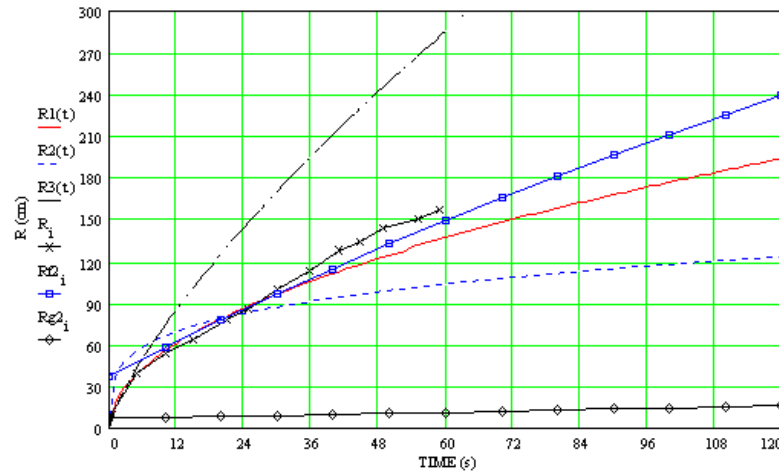


Figura 6.3 – Lago Medio oil spreading experiments. Mackay and OilFlow2D formulation.

6.2 Evaporación

Inmediatamente después de producirse un derrame de petróleo, los hidrocarburos comienzan a evaporarse, reduciendo así el volumen de petróleo derramado. Para considerar este fenómeno, es necesario calcular la fracción de petróleo evaporada en cada intervalo de tiempo en función de las propiedades del crudo. OilFlow2D ofrece dos formulaciones para calcular la fracción de petróleo

evaporada: una propuesta por Fingas (2010) y otra de Stiver-Mackay (1984).

6.2.1 Formulación de Stiver-Mackay

La formulación de Stiver-Mackay es la siguiente:

$$\frac{dF_e}{dt} = \Theta \left[6.3 - \left(\frac{10.3}{T_{oil}} \right) (T_0 + P F_e) \right]$$

donde F_e es la fracción del volumen total de la mancha que se ha evaporado.

Θ es el llamado *coeficiente de exposición* y se define como:

$$\Theta = \frac{K_m A}{V_o}$$

siendo K_m el coeficiente de transferencia de masa, que puede escribirse como:

$$K_m = 0.0025 W^{0.78}$$

W es la velocidad del viento a 10 m sobre la superficie en m/s , A es el área de la mancha expresada en m^2 , t es el tiempo del derrame en segundos, V es el volumen inicial del derrame en m^3 , T es la temperatura del petróleo en K , $T_0 = 532.95 - 3.125 API$ es el punto de ebullición inicial del petróleo para la temperatura inicial del aire en K , y $P = 985.62 - 13.597 API$ representa la pendiente de la destilación estándar del petróleo (temperatura frente a fracción evaporada).

6.2.2 Formulación de Fingas

Según Fingas (2010), la evaporación de aceites y productos derivados del petróleo puede describirse mediante el concepto de regulación controlada por difusión a través de la capa de petróleo y de la interfaz superficial petróleo-aire. Este mecanismo difiere fundamentalmente de la regulación por la capa límite de aire, que se aplica a líquidos puros de evaporación rápida, como el agua.

Los modelos de evaporación se clasifican generalmente en dos categorías: los basados en la evaporación controlada por la capa límite de aire y los basados en la evaporación regulada por difusión. Los estudios experimentales demuestran que la evaporación del petróleo no sigue un control por la capa límite de aire. A diferencia del agua, cuyas tasas de evaporación están muy influidas por las condiciones atmosféricas, la evaporación del petróleo está gobernada principalmente por procesos de difusión dentro de la propia capa de petróleo.

Puesto que, según Fingas, la evaporación del petróleo no está regulada por la capa límite de aire, una formulación de evaporación relativamente sencilla basta para describir el proceso. No es necesario considerar explícitamente factores como la velocidad del viento, la intensidad de la turbulencia, el área superficial y los efectos de escala. En su lugar, las variables dominantes que controlan la evaporación son el tiempo y la temperatura. El espesor del petróleo también desempeña un papel secundario y, por ello, se incluye en las formulaciones de evaporación reguladas por difusión.

Fingas (2010) desarrolló un marco de modelado simplificado y basado en datos empíricos que proporciona ecuaciones de evaporación para más de 200 aceites y productos petrolíferos comunes. Estas formulaciones se derivaron de estudios experimentales del comportamiento de la evaporación del petróleo. Para la mayoría de los aceites, la evaporación sigue una relación funcional de la forma

$F_e = 0.01(a + bT) \ln(t)$, donde a y b son constantes empíricas, T representa la temperatura y t denota el tiempo.

Algunos aceites, como los combustibles diésel, presentan un comportamiento de evaporación diferente y siguen una relación de la forma $F_e = 0.01(a + bT)\sqrt{t}$. Por ello, el diésel y combustibles similares muestran una curvatura temporal distinta en sus perfiles de evaporación, especialmente durante las primeras etapas, en comparación con la mayoría de los demás aceites.

Las formulaciones resultantes de Fingas (2010) para determinar la fracción evaporada se resumen en las tablas siguientes:

Oil (Group 1)	$F_e \times 100$	Oil (Group 2)	$F_e \times 100$
Adgo	$(0.11 + 0.013 T)\sqrt{t}$	Chavvyo	$(3.52 + 0.045 T) \ln(t)$
Adgo-long term	$(0.68 + 0.045 T) \ln(t)$	Combined oil/gas	$(-0.08 + 0.013 T)\sqrt{t}$
Alberta Sweet Mixed Blend	$(3.24 + 0.054 T) \ln(t)$	Compressor Lube Oil-new	$(-0.68 + 0.045 T) \ln(t)$
Amauligak	$(1.63 + 0.045 T) \ln(t)$	Cook Inlet Trading Bay	$(3.15 + 0.045 T) \ln(t)$
Amauligak-f24	$(1.91 + 0.045 T) \ln(t)$	Cook Inlet-Granite Point	$(4.54 + 0.045 T) \ln(t)$
Arabian Heavy	$(1.31 + 0.045 T) \ln(t)$	Cook Inlet-Swanson River	$(3.58 + 0.045 T) \ln(t)$
Arabian Heavy	$(2.71 + 0.045 T) \ln(t)$	Corrosion Inhibitor Solvent	$(-0.02 + 0.013 T)\sqrt{t}$
Arabian Light	$(2.52 + 0.037 T) \ln(t)$	Cusiana	$(3.39 + 0.045 T) \ln(t)$
Arabian Light	$(3.41 + 0.045 T) \ln(t)$	Delta West Block 97	$(6.57 + 0.045 T) \ln(t)$
Arabian Light (2001)	$(2.4 + 0.045 T) \ln(t)$	Diesel (regular stock)	$(0.31 + 0.018 T)\sqrt{t}$
Arabian Medium	$(1.89 + 0.045 T) \ln(t)$	Diesel Anchorage-Long	$(4.54 + 0.045 T) \ln(t)$
ASMB (offshore)	$(2.2 + 0.045 T) \ln(t)$	Diesel Anchorage-Short	$(0.51 + 0.013 T)\sqrt{t}$
ASMB-Standard #5	$(3.35 + 0.045 T) \ln(t)$	Diesel fuel-Southern-long term	$(2.18 + 0.045 T) \ln(t)$
Av Gas 80	$(15.4 + 0.045 T) \ln(t)$	Diesel fuel-Southern-short term	$(-0.02 + 0.013 T)\sqrt{t}$
Avalon	$(1.41 + 0.045 T) \ln(t)$	Diesel Mobile 1997	$(0.03 + 0.013 T)\sqrt{t}$
Avalon J-34	$(1.58 + 0.045 T) \ln(t)$	Diesel Mobile 1997 long-term	$(-0.02 + 0.013 T)\sqrt{t}$
Aviation Gasoline 100 LL	$(0.5 + 0.045 T) \ln(t)$	Diesel-long term	$(5.8 + 0.045 T) \ln(t)$
Barrow Island	$(4.67 + 0.045 T) \ln(t)$	Dos Cuadros	$(1.88 + 0.045 T) \ln(t)$
BCF-24	$(1.08 + 0.045 T) \ln(t)$	Ekofisk	$(4.92 + 0.045 T) \ln(t)$
Belridge Crude	$(0.03 + 0.013 T)\sqrt{t}$	Empire Crude	$(2.21 + 0.045 T) \ln(t)$
Bent Horn A-02	$(3.19 + 0.045 T) \ln(t)$	Endicott	$(0.9 + 0.045 T) \ln(t)$
Beta	$(-0.08 + 0.013 T)\sqrt{t}$	Esso Spartan EP-680 Industrial Oil	$(-0.66 + 0.045 T) \ln(t)$
Beta-long term	$(0.29 + 0.045 T) \ln(t)$	Eugene Island 224-condensate	$(9.53 + 0.045 T) \ln(t)$
Boscan	$(-0.15 + 0.013 T)\sqrt{t}$	Eugene Island Block 32	$(0.77 + 0.045 T) \ln(t)$
Brent	$(3.39 + 0.048 T) \ln(t)$	Eugene Island Block 43	$(1.57 + 0.045 T) \ln(t)$

Oil (Group 1)	$F_e \times 100$	Oil (Group 2)	$F_e \times 100$
Bunker C Anchorage	$(-0.13 + 0.013 T)\sqrt{t}$	Evendell	$(3.38 + 0.045 T) \ln(t)$
Bunker C Anchorage (long term)	$(0.31 + 0.045 T) \ln(t)$	FCC Heavy Cycle	$(0.17 + 0.013 T)\sqrt{t}$
Bunker C-Light (IFO-250)	$(0.0035 + 0.0026 T)\sqrt{t}$	FCC Light	$(-0.17 + 0.013 T)\sqrt{t}$
Bunker C-long term	$(-0.21 + 0.045 T) \ln(t)$	FCC Medium Cycle	$(-0.16 + 0.013 T)\sqrt{t}$
Bunker C-short term	$(0.35 + 0.013 T)\sqrt{t}$	FCC-VGO	$(2.5 + 0.013 T)\sqrt{t}$
California API 11	$(-0.13 + 0.013 T)\sqrt{t}$	Federated	$(3.47 + 0.045 T) \ln(t)$
California API 15	$(-0.14 + 0.013 T)\sqrt{t}$	Federated (new-1999)	$(3.45 + 0.045 T) \ln(t)$
Cano Limon	$(1.71 + 0.045 T) \ln(t)$	Garden Banks 387	$(1.84 + 0.045 T) \ln(t)$
Carpenteria	$(1.68 + 0.045 T) \ln(t)$	Garden Banks 426	$(3.44 + 0.045 T) \ln(t)$
Cat cracking feed	$(-0.18 + 0.013 T)\sqrt{t}$	Gasoline	$(13.2 + 0.21 T) \ln(t)$

Fracción evaporada en función de la temperatura T y el tiempo t según la formulación de Fingas (2010)

Oil (Group 3)	$F_e \times 100$	Oil (Group 4)	$F_e \times 100$
Genesis	$(2.12 + 0.045 T) \ln(t)$	Maya	$(1.38 + 0.045 T) \ln(t)$
Green Canyon Block 109	$(1.58 + 0.045 T) \ln(t)$	Mayan crude	$(1.45 + 0.045 T) \ln(t)$
Green Canyon Block 184	$(3.55 + 0.045 T) \ln(t)$	Mississippi Canyon Block 194	$(2.62 + 0.045 T) \ln(t)$
Green Canyon Block 65	$(1.56 + 0.045 T) \ln(t)$	Mississippi Canyon Block 72	$(2.15 + 0.045 T) \ln(t)$
Greenplus Hydraulic Oil	$(-0.68 + 0.045 T) \ln(t)$	Mississippi Canyon Block 807	$(2.05 + 0.045 T) \ln(t)$
Gulfaks	$(2.29 + 0.034 T) \ln(t)$	Nektoralik	$(0.62 + 0.045 T) \ln(t)$
Heavy Reformate	$(-0.17 + 0.013 T)\sqrt{t}$	Neptune Spar (Viosca Knoll 826)	$(3.75 + 0.045 T) \ln(t)$
Hebron MD-4	$(1.01 + 0.045 T) \ln(t)$	Nerlerk	$(2.01 + 0.045 T) \ln(t)$
Heidrun	$(1.95 + 0.045 T) \ln(t)$	Ninian	$(2.65 + 0.045 T) \ln(t)$
Hibernia	$(2.18 + 0.045 T) \ln(t)$	Norman Wells	$(3.11 + 0.045 T) \ln(t)$
High Viscosity Fuel Oil	$(-0.12 + 0.013 T)\sqrt{t}$	North Slope-Middle Pipeline	$(2.64 + 0.045 T) \ln(t)$
Hondo	$(1.49 + 0.045 T) \ln(t)$	North Slope-Northern Pipeline	$(2.64 + 0.045 T) \ln(t)$
Hout	$(2.29 + 0.045 T) \ln(t)$	North Slope-Southern Pipeline	$(2.47 + 0.045 T) \ln(t)$
IFO-180	$(-0.12 + 0.013 T)\sqrt{t}$	Nugini	$(1.64 + 0.045 T) \ln(t)$
IFO-30 (Svalbard)	$(-0.04 + 0.045 T) \ln(t)$	Odoptu	$(4.27 + 0.045 T) \ln(t)$
IFO-300 (old Bunker C)	$(-0.15 + 0.013 T)\sqrt{t}$	Oriente 1	$(1.32 + 0.045 T) \ln(t)$

Oil (Group 3)	$F_e \times 100$	Oil (Group 4)	$F_e \times 100$
Iranian Heavy	$(2.27 + 0.045 T) \ln(t)$	Oriente 2	$(1.57 + 0.045 T) \ln(t)$
Issungnak	$(1.56 + 0.045 T) \ln(t)$	Orimulsion 400-dewater	$3.6 \ln(t)$
Isthmus	$(2.48 + 0.045 T) \ln(t)$	Orimulsion plus water	$(3 + 0.045 T) \ln(t)$
Jet 40 Fuel	$(8.96 + 0.045 T) \ln(t)$	Oseberg	$(2.68 + 0.045 T) \ln(t)$
Jet A1	$(0.59 + 0.013 T) \sqrt{t}$	Panuke	$(7.12 + 0.045 T) \ln(t)$
Jet Fuel (Anch)	$(7.19 + 0.045 T) \ln(t)$	Pitas Point	$(7.04 + 0.045 T) \ln(t)$
Jet Fuel (Anch)	$(1.06 + 0.013 T) \sqrt{t}$	Platform Gail (Sockeye)	$(1.68 + 0.045 T) \ln(t)$
short term			
Komineft	$(2.73 + 0.045 T) \ln(t)$	Platform Holly	$(1.09 + 0.045 T) \ln(t)$
Lago	$(1.13 + 0.045 T) \ln(t)$	Platform Irene-long term	$(0.74 + 0.045 T) \ln(t)$
Lago Treco	$(1.12 + 0.045 T) \ln(t)$	Platform Irene-short	$(-0.05 + 0.013 T) \sqrt{t}$
		term	
Lucula	$(2.17 + 0.045 T) \ln(t)$	Point Arguello Heavy	$(0.94 + 0.045 T) \ln(t)$
Main Pass Block	$(2.86 + 0.045 T) \ln(t)$	Point Arguello Light	$(2.44 + 0.045 T) \ln(t)$
306			
Main Pass Block 37	$(3.04 + 0.045 T) \ln(t)$	Point Arguello Light-b	$(2.3 + 0.045 T) \ln(t)$
Malongo	$(1.67 + 0.045 T) \ln(t)$	Point	$(1.43 + 0.045 T) \ln(t)$
		Arguello-co-mingled	
Marinus Turbine Oil	$(-0.68 + 0.045 T) \ln(t)$	Polypropylene Tetramer	$0.25 t$
Marinus Valve Oil	$(-0.68 + 0.045 T) \ln(t)$	Port Hueneme	$(0.3 + 0.045 T) \ln(t)$
Mars TLP	$(2.18 + 0.045 T) \ln(t)$		
Maui	$(-0.14 + 0.013 T) \sqrt{t}$		

Fracción evaporada en función de la temperatura T y el tiempo t según la formulación de Fingas (2010)

Oil (Group 5)	$F_e \times 100$	Oil (Group 6)	$F_e \times 100$
Prudhoe Bay (new stock)	$(2.37 + 0.045 T) \ln(t)$	Vasconia	$(0.84 + 0.045 T) \ln(t)$
Prudhoe Bay (old stock)	$(1.69 + 0.045 T) \ln(t)$	Viosca Knoll Block 826	$(2.04 + 0.045 T) \ln(t)$
Prudhoe stock b	$(1.4 + 0.045 T) \ln(t)$	Viosca Knoll Block 990	$(3.16 + 0.045 T) \ln(t)$
Rangely	$(1.89 + 0.045 T) \ln(t)$	Voltesso 35	$(-0.18 + 0.013 T) \sqrt{t}$
Sahara Blend	$(0.001 + 0.013 T) \sqrt{t}$	Waxy Light and Heavy	$(1.52 + 0.045 T) \ln(t)$
Sahara Blend (long term)	$(1.09 + 0.045 T) \ln(t)$	West Delta Block 30 w/water	$(-0.04 + 0.013 T) \sqrt{t}$
Sakalin	$(4.16 + 0.045 T) \ln(t)$	West Texas Intermediate 1	$(2.77 + 0.045 T) \ln(t)$
Santa Clara	$(1.63 + 0.045 T) \ln(t)$	West Texas Intermediate 2	$(3.08 + 0.045 T) \ln(t)$
Scotia Light 1	$(6.92 + 0.045 T) \ln(t)$	West Texas Sour	$(2.57 + 0.045 T) \ln(t)$

Oil (Group 5)	$F_e \times 100$	Oil (Group 6)	$F_e \times 100$
Scotia Light 2	$(6.87 + 0.045 T) \ln(t)$	White Rose	$(1.44 + 0.045 T) \ln(t)$
Ship Shoal Block 239	$(2.71 + 0.045 T) \ln(t)$	Zaire	$(1.36 + 0.045 T) \ln(t)$
Ship Shoal Block 269	$(3.37 + 0.045 T) \ln(t)$		
Sockeye	$(2.14 + 0.045 T) \ln(t)$		
Sockeye Co-mingled	$(1.38 + 0.045 T) \ln(t)$		
Sockeye Sour	$(1.32 + 0.045 T) \ln(t)$		
Sockeye Sweet	$(2.39 + 0.045 T) \ln(t)$		
South Louisiana	$(2.39 + 0.045 T) \ln(t)$		
South Pass Block 60	$(2.91 + 0.045 T) \ln(t)$		
South Pass Block 67	$(2.17 + 0.045 T) \ln(t)$		
South Pass Block 93	$(1.5 + 0.045 T) \ln(t)$		
South Timbalier	$(2.77 + 0.045 T) \ln(t)$		
Block 130			
Statfjord	$(2.67 + 0.06 T) \ln(t)$		
Sumatran Heavy	$(-0.11 + 0.013 T) \sqrt{t}$		
Sumatran Light	$(0.96 + 0.045 T) \ln(t)$		
Taching	$(-0.11 + 0.013 T) \sqrt{t}$		
Takula	$(1.95 + 0.045 T) \ln(t)$		
Tapis	$(3.04 + 0.045 T) \ln(t)$		
Tchatamba Crude	$(3.8 + 0.045 T) \ln(t)$		
Terra Nova	$(1.36 + 0.045 T) \ln(t)$		
Terresso 150	$(-0.68 + 0.045 T) \ln(t)$		
Terresso 220	$(-0.66 + 0.045 T) \ln(t)$		
Terresso 46	$(-0.67 + 0.045 T) \ln(t)$		
Industrial oil			
Thevenard Island	$(5.74 + 0.045 T) \ln(t)$		
Turbine Oil STO 120	$(-0.68 + 0.045 T) \ln(t)$		
Turbine Oil STO 90	$(-0.68 + 0.045 T) \ln(t)$		
Udang	$(-0.14 + 0.013 T) \sqrt{t}$		
Udang (long term)	$(0.06 + 0.045 T) \ln(t)$		

Fracción evaporada en función de la temperatura T y el tiempo t según la formulación de Fingas (2010)

6.3 Emulsificación

Este es uno de los procesos menos comprendidos y, sin embargo, más críticos que influyen en la evolución de una mancha de petróleo, especialmente en lo relativo al cambio de las propiedades del petróleo y a su hundimiento. Se requiere un análisis cuidadoso debido a su importante impacto en el comportamiento físico y el destino del petróleo derramado. El proceso implica la formación de una emulsión de agua en petróleo, que transforma el petróleo derramado en una mezcla muy viscosa. Por su color oscuro y su aspecto espeso y semisólido, esta emulsión suele denominarse

mousse de chocolate.

La emulsificación del petróleo se produce a medida que este se propaga sobre la superficie del agua. Ciertos componentes del petróleo tienden a acumularse en la interfaz petróleo-agua, formando una capa estabilizadora compuesta principalmente por asfaltenos, resinas y ceras. Esta capa interfacial inhibe la coalescencia de las gotas individuales de petróleo. No obstante, sigue produciéndose cierta agregación y, al fusionarse los fragmentos de petróleo, el agua queda atrapada entre ellos y forma películas delgadas que evolucionan hacia estructuras emulsionadas pequeñas y estables. El agua retenida proporciona soporte estructural a la emulsión, promoviendo y manteniendo así el proceso de emulsificación de agua en petróleo.

La tendencia del crudo a emulsionarse depende en gran medida de su composición y de las condiciones ambientales del lugar del derrame, como la temperatura, la energía de las olas y la salinidad.

La fracción de agua incorporada a la mancha de petróleo debido a la formación de la emulsión puede calcularse mediante la formulación de MacKay (Sebastiao y Soares, 1995):

$$\frac{dF_{em}}{dt} = K_{em}(1 + W^2)\left(1 - \frac{F_{em}}{F_{max}}\right)$$

donde F_{em} es la fracción de agua en el petróleo con respecto al volumen total de la mancha, F_{max} es el contenido máximo de agua y W es la velocidad del viento a 10 m sobre la superficie en m/s .

6.4 Cambio de densidad y viscosidad

La densidad y la viscosidad de una mancha de petróleo en la superficie del mar están determinadas principalmente por los procesos de meteorización del petróleo. Entre ellos, la evaporación y la emulsificación son los mecanismos dominantes que influyen en la evolución de la viscosidad. Aunque la evaporación modifica las propiedades del petróleo, se ha informado que su impacto en la viscosidad es menos importante que el de la emulsificación. La emulsificación provoca un aumento rápido de la viscosidad de la mancha. Por tanto, el efecto de la formación de la emulsión debe tenerse explícitamente en cuenta al estimar la viscosidad de la mancha.

Para estimar el cambio de densidad del petróleo, el modelo utiliza la siguiente fórmula:

$$\rho_o = F_{em}\rho_w + \rho_{oi}(1 - F_{em})(1 + 0.18F_e)$$

donde ρ_o es la densidad del petróleo en un momento dado (kg/m^3), ρ_{oi} es la densidad inicial del petróleo (kg/m^3) y ρ_w es la densidad del agua (kg/m^3).

Para determinar el cambio de viscosidad, el modelo utiliza la siguiente fórmula:

$$\mu_{ow} = \mu_{oi} \exp(10F_e) \exp\left(\frac{2.5F_{em}}{1 - 0.65F_{em}}\right) \exp\left(-63.16\frac{T_{ref} - T_o}{T_o T_{ref}}\right)$$

donde μ_{ow} es la viscosidad de la mezcla petróleo-agua (cP), μ_{oi} es la viscosidad inicial del petróleo (cP), T_o es la temperatura del petróleo (K) y T_{ref} es la temperatura inicial del petróleo (K).

6.5 Formulación de propagación del petróleo

Muchos autores han tratado este tema; entre ellos, los trabajos de Fay y Hoult pueden considerarse los primeros intentos de formular expresiones relativamente sencillas para simular la propagación del petróleo. En 1980, Mackay et al.¹ presentaron el trabajo ya clásico *Oil Spill Processes and Models*, en el que los fenómenos más importantes que determinan los derrames se formularon de manera sencilla. En particular, la formulación de propagación, basada en las fórmulas de Fay, aplicó el concepto de mancha gruesa y delgada, que ha tenido amplia aceptación. Parece que, desde 1980, la mayor parte de la investigación se ha dedicado a estudiar otros procesos importantes suponiendo que el proceso de propagación estaba correctamente modelado.

La formulación de propagación de Mackay para la mancha delgada se basa en el régimen de propagación por tensión superficial de Fay. La evolución temporal del área de petróleo se escribe:

$$A_{tn} = K_{tn} t^{3/2}$$

donde A_{tn} es el área de la mancha delgada de petróleo, t es el tiempo y K_{tn} se supone constante. Derivando la ecuación anterior respecto al tiempo:

$$\frac{dA_{tn}}{dt} = \frac{3}{2} K_{tn} t^{1/2}$$

Al sustituir t de la ecuación del área en la derivada y simplificar, se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{dA_{tn}}{dt} = K' A_{tn}^{1/3}$$

donde $K' = 3/2 K_{tn}^{2/3}$

Aplicando el método de Euler a la ecuación diferencial ordinaria y suponiendo que K' es independiente del tiempo (Mackay supone que K_{tn} es constante), se obtiene la aproximación:

$$\Delta A_{tn} = A_k A_{tn}^{1/3} \Delta t$$

donde ΔA_{tn} es el cambio del área de la mancha delgada en el intervalo de tiempo Δt , y $A_k = K'$. Mackay supuso que la mancha delgada tiene un espesor constante ($1\mu m$) y que, al propagarse, extrae petróleo de la mancha gruesa. Para tener en cuenta el retraso de este mecanismo de *alimentación*, Mackay introduce un factor exponencial empírico:

$$\Delta A_{tn} = A_k A_{tn}^{1/3} \exp\left(\frac{-C_k}{Z}\right) \Delta t$$

donde C_k es una constante que debe ajustarse y Z es el espesor de la mancha gruesa.

Para simular la mancha gruesa, la derivación de Mackay parte de la ecuación gravitatoria-viscosa de Fay:

$$A_{tk} = K_{tk} V^{2/3} t^{1/2}$$

donde A_{tk} es el área de la mancha gruesa de petróleo y K_{tk} se supone constante.

Derivando la ecuación anterior respecto al tiempo:

¹ En este manual, el informe de Mackay et al. se denominará indistintamente informe de Mackay.

$$\frac{dA_{tk}}{dt} = \frac{1}{2} K_{tk} V^{2/3} t^{-1/2}$$

Al sustituir t de la ecuación del área de la mancha gruesa en su derivada, suponiendo un espesor constante de la mancha gruesa ($V = A_{tk}Z$), y simplificar, se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{dA_{tk}}{dt} = K'_{tk} Z^{4/3} A_{tk}^{1/3}$$

donde $K'_{tk} = 1/2 K_{tk}^2$.

Aplicando el método de Euler a la ecuación diferencial ordinaria, suponiendo que K'_{tk} es independiente del tiempo (recuérdese que Mackay supone que K_{tk} es constante) y que Z no cambia significativamente en el intervalo de tiempo Δt , se obtiene la aproximación:

$$\Delta A_{tk} = B_k Z^{4/3} A_{tk}^{1/3} \Delta t$$

donde ΔA_{tk} es el cambio del área de la mancha gruesa en el intervalo de tiempo Δt , y $B_k = K'_{tk}$. La ecuación final para la evolución del área de la mancha gruesa, teniendo en cuenta la pérdida de volumen debida a la *alimentación* de la mancha delgada, es según Mackay:

$$\Delta A_{tk} = B_k Z^{4/3} A_{tk}^{1/3} \Delta t - \left(10^{-6} \frac{\Delta A_{tn}}{Z} \right)$$

Mackay determina las constantes A_k , B_k y C_k ajustándolas para que las ecuaciones de mancha delgada y gruesa se adapten a un experimento de campo de propagación particular. Los valores obtenidos fueron:

$$A_k = 1.0$$

$$B_k = 150.0$$

$$C_k = 0.0015$$

Aunque estos valores se ajustaron a un conjunto particular de pruebas de campo, la mayoría de los modelos de derrames de petróleo disponibles actualmente utilizan las mismas constantes, sin tener en cuenta la influencia de las propiedades del petróleo en su determinación.

6.5.1 Formulación de A_k y B_k

Para analizar las ecuaciones de Mackay y determinar las expresiones correctas de A_k y B_k , comenzaremos con la formulación original de propagación por tensión superficial de Fay y Hoult. Suponiendo una propagación circular, tenemos:

$$A_{tn} = \frac{\pi}{4} \frac{\sigma}{\rho_w \nu_w^{1/2}} t^{3/2}$$

donde ρ_w es la densidad del agua, ν_w es la viscosidad cinemática del agua y σ es el coeficiente neto de propagación, definido como:

$$\sigma = \sigma_{aw} - \sigma_{ow} - \sigma_{oa}$$

donde σ_{aw} , σ_{ow} y σ_{oa} son, respectivamente, las tensiones interfaciales aire-agua, petróleo-agua y petróleo-aire.

Al comparar la expresión de Fay y Hoult con la expresión de Mackay para la mancha delgada, se observa que K_{tn} no es una constante, sino que en realidad:

$$K_{tn} = \frac{\pi}{4} \frac{\sigma}{\rho_w \nu_w^{1/2}}$$

Al sustituir este valor en A_k se obtiene la siguiente expresión:

$$A_k = \frac{3}{2} \left(\frac{\pi}{4} \right)^{2/3} \left(\frac{\sigma}{\rho_w \nu_w^{1/2}} \right)^{2/3}$$

Obsérvese que A_k tiene dimensiones $[L^{4/3}/T]$.

El análisis anterior muestra que A_k no es una constante, sino que depende del coeficiente neto de propagación del petróleo y de las propiedades del agua.

Para analizar la ecuación de Mackay para la mancha gruesa, partimos de la formulación de propagación gravitatoria-viscosa de Fay y Hoult. Suponiendo de nuevo una propagación circular, tenemos:

$$A_{tk} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{\Delta g}{\nu_w^{1/2}} \right)^{1/3} V^{2/3} t^{1/2}$$

donde g es la aceleración gravitatoria, $\Delta = 1 - \rho_o/\rho_w$, y ρ_o es la densidad del petróleo.

Al comparar la expresión de Fay y Hoult con la expresión de Mackay para la mancha gruesa, se observa que K_{tk} no es una constante, sino que en realidad:

$$K_{tk} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{\Delta g}{\nu_w^{1/2}} \right)^{1/3}$$

Al sustituir este valor en B_k se obtiene la siguiente expresión:

$$B_k = \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{4} \right)^2 \left(\frac{\Delta g}{\nu_w^{1/2}} \right)^{2/3}$$

Obsérvese que B_k tiene dimensiones $[1/T]$.

Por tanto, B_k no es una constante, sino que depende de las propiedades físicas del petróleo y del agua.

La Figura 1.4 muestra la dependencia de A_k respecto al coeficiente de propagación σ . El valor propuesto por Mackay, $A_k = 1m^{4/3}/s = 464.16cm^{4/3}/s$, corresponde a $\sigma \approx 714$ dinas/cm. Es bien sabido que el valor de σ para los aceites existentes ronda las 25 dinas/cm. No existe ningún aceite con valores de tensión superficial en el intervalo implícito en la constante de Mackay.

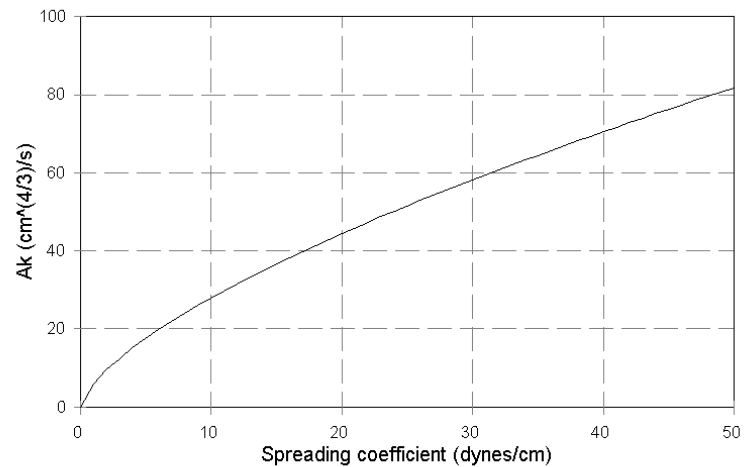


Figura 6.4 – A_k vs. oil spreading coefficient σ in sea water

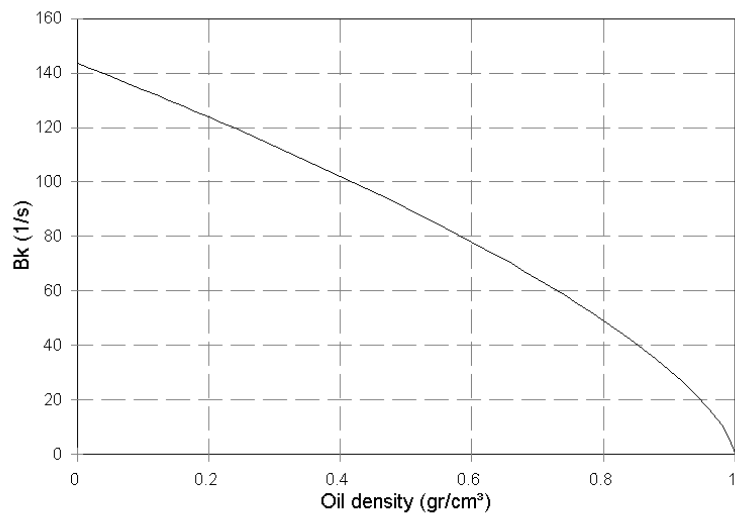


Figura 6.5 – B_k as a function of oil density ρ_o

La Figura 1.5 muestra la dependencia de B_k respecto a la densidad del petróleo. Obsérvese que el valor sugerido por Mackay, $B_k = 150$, está fuera de rango y no corresponde a ningún aceite existente. Los valores apropiados deberían estar alrededor de $B_k = 30$.

El análisis anterior demostró que pueden obtenerse errores si los valores de A_k y B_k sugeridos originalmente por Mackay se utilizan para todas las simulaciones de derrames sin tener en cuenta las propiedades del petróleo y del agua.

6.6 Barreras de contención

OilFlow2D puede considerar el efecto de las barreras de contención en la trayectoria de los derrames mediante el componente *Booms*. Las barreras se introducen como polilíneas en la capa *Spill-Booms* de QGIS y se consideran barreras físicas para las partículas que representan el petróleo. Estas barreras pueden ser parciales, según el parámetro *Oil Trapping Fraction (OTF)* asignado a cada barrera. Por ejemplo, si OTF es 1, todas las partículas de petróleo quedarán atrapadas por la barrera; si OTF se establece en 0,1, solo se retendrá el 10 % de las partículas y el 90 % atravesará la barrera.

6.7 Configuración de una simulación de derrame de petróleo sobre el agua

Consulte el documento *Tutorials* para obtener una explicación paso a paso sobre la configuración de una simulación completa de derrame de petróleo sobre el agua.

7

Modelo de transporte de contaminantes: PL

El estudio de los fenómenos de transporte de solutos y de la mezcla en ríos se ha vuelto muy importante en problemas hidráulicos y ambientales. El modelo de transporte de contaminantes de OilFlow2D proporciona una herramienta para calcular las concentraciones de múltiples contaminantes en una variedad de situaciones fluviales y estuarinas.

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

7.1 Ecuaciones del modelo

Aunque OilFlow2D PL puede manejar múltiples contaminantes simultáneamente, para mayor claridad en esta sección se presenta el transporte de un solo soluto acoplado al modelo 2D. Las ecuaciones de transporte del contaminante 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 someras con transporte de solutos puede escribirse como un sistema acoplado único:

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

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 con la ecuación de transporte del soluto 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.

7.2 Solución numérica de volumen finito para el transporte de contaminantes

En OilFlow2D, el transporte de solutos se ha considerado dejando de lado los términos de difusión. Sin embargo, se han desarrollado estrategias como dividir y calcular por separado los términos de advección y difusión, o resolver la difusión implícitamente, para evitar valores pequeños en el tamaño del paso temporal debidos a la combinación del número CFL y el número de Peclet.

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

Para obtener un método totalmente conservativo, OilFlow2D 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 se puede aplicar el procedimiento directo descrito anteriormente, permitiendo una linealización local de Roe y expresando las contribuciones que llegan a la celda como una suma de ondas. Para garantizar la conservación y valores acotados en la concentración final del soluto incluso en casos extremos, en OilFlow2D se implementó una redistribución conservativa de los flujos máximos de soluto, como se propuso en la referencia correspondiente.

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

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

donde

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

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

Desde un punto de vista físico, la nueva masa de soluto en una celda fija puede interpretarse como el intercambio de volúmenes de agua con cierta concentración a través de las paredes vecinas y su mezcla (método de tipo Godunov de volúmenes finitos) con la masa anterior existente en el tiempo previo (Figura). 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 este motivo, 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).

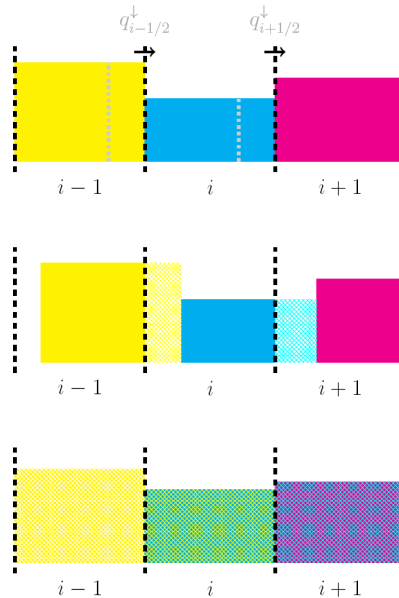


Figura 7.1 – Representación física del intercambio de masa de soluto entre celdas con $q_{i-1/2}^\downarrow, q_{i+1/2}^\downarrow > 0$.

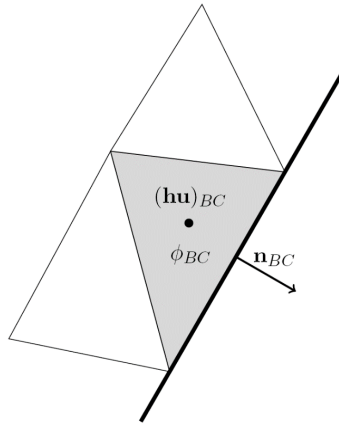


Figura 7.2 – Extracción de masa de soluto en una celda de contorno de salida.

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

7.3 Introducción de datos para el modelo de transporte de contaminantes de contaminantes

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

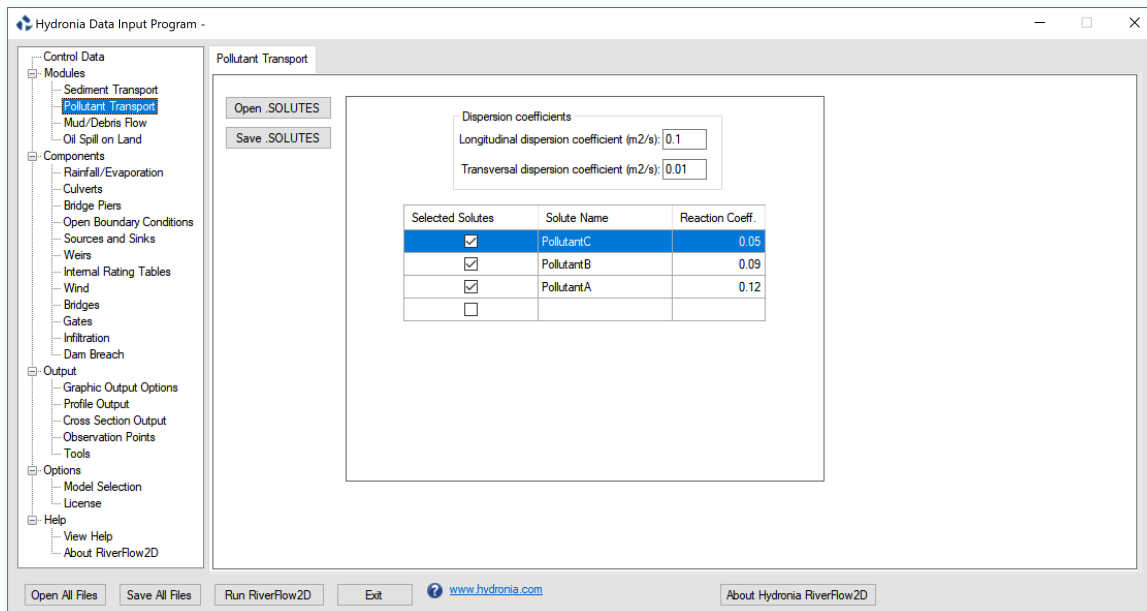


Figura 7.3 – Panel DIP *Pollutant Transport*.

7.4 Supuestos del modelo de transporte de contaminantes

Los principales supuestos de la versión actual del modelo OilFlow2D son:

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

8

Paralelización del código

8.1 CPU de OilFlow2D

El código de OilFlow2D se ha paralelizado mediante directivas OpenMP disponibles en el compilador Intel C++. La interfaz de programación de aplicaciones (API) de OpenMP admite programación paralela de memoria compartida y multiplataforma en C/C++ y Fortran sobre arquitecturas que incluyen plataformas MAC OS, Unix y Windows (OpenMP, 2009). OpenMP proporciona instrucciones para paralelizar códigos serie existentes y ejecutarlos en plataformas de memoria compartida, desde computadoras asequibles y ampliamente disponibles con varios núcleos hasta supercomputadoras. Mediante este enfoque de paralelización, OilFlow2D distribuye dinámicamente la carga de trabajo computacional entre tantos procesadores o núcleos como estén disponibles. De esta forma, el modelo optimiza sus cálculos para la arquitectura particular de cada computadora.

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

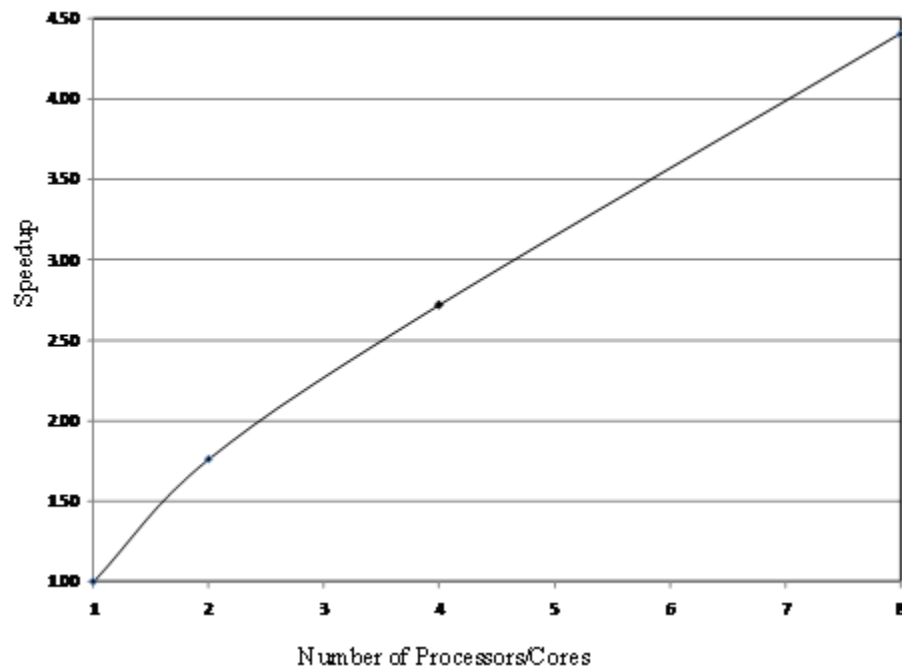


Figura 8.1 – Aceleración obtenida con el código paralelizado de OilFlow2D en función del número de núcleos del procesador.

8.2 GPU de OilFlow2D

La versión GPU del modelo OilFlow2D ofrece aceleraciones notables que reducen considerablemente los tiempos de ejecución. OilFlow2D GPU implementa dos estrategias: paralelización OpenMP y técnicas de GPU. Puesto que en los flujos transitorios de inundación el número de llamadas húmedas cambia durante la simulación, en la implementación OpenMP se ha incluido una asignación dinámica de tareas a los procesadores que garantiza una carga de trabajo equilibrada. El método estricto de OilFlow2D para controlar la conservación del volumen (errores del orden de $10^{-14}\%$) en el modelado numérico de los frentes de mojado/secado incluye un paso de corrección que no es completamente local y requiere un tratamiento especial para evitar la degradación del rendimiento del modelo. La versión GPU reduce el tiempo de cálculo hasta en un factor de 700X en comparación con ejecuciones CPU no paralelizadas (de 1 núcleo). La figura muestra pruebas de rendimiento con hardware GPU reciente que demuestran que las técnicas de paralelización implementadas en OilFlow2D GPU pueden reducir significativamente el costo computacional.

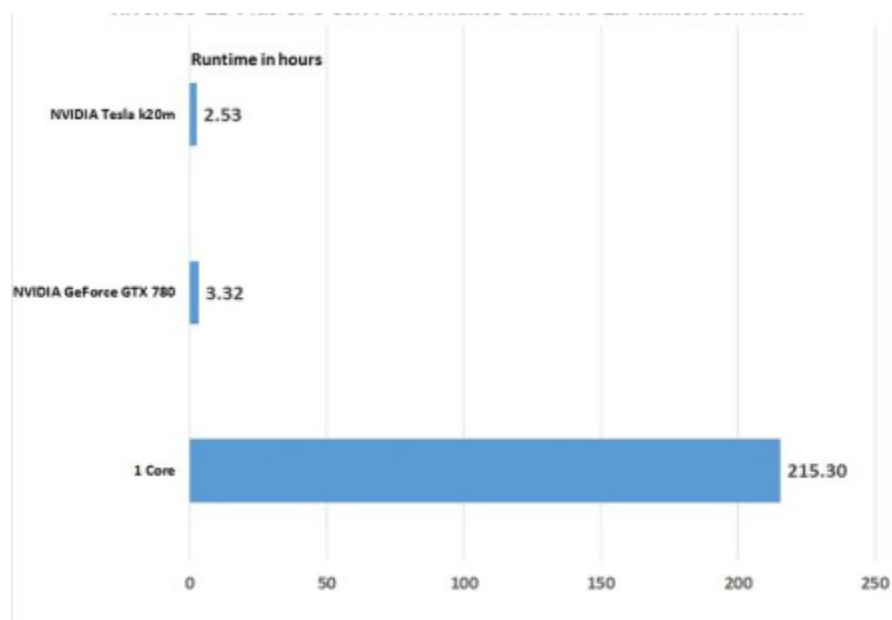


Figura 8.2 – Aceleración obtenida con el código paralelizado de OilFlow2D en función del número de núcleos del procesador.

9

Componentes hidráulicos e hidrológicos

Los componentes de OilFlow2D 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:

- **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 muelle 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.

9.1 Componente de puentes

OilFlow2D 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 muelle y tendrá en cuenta la resistencia del muelle. 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 OilFlow2D 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.

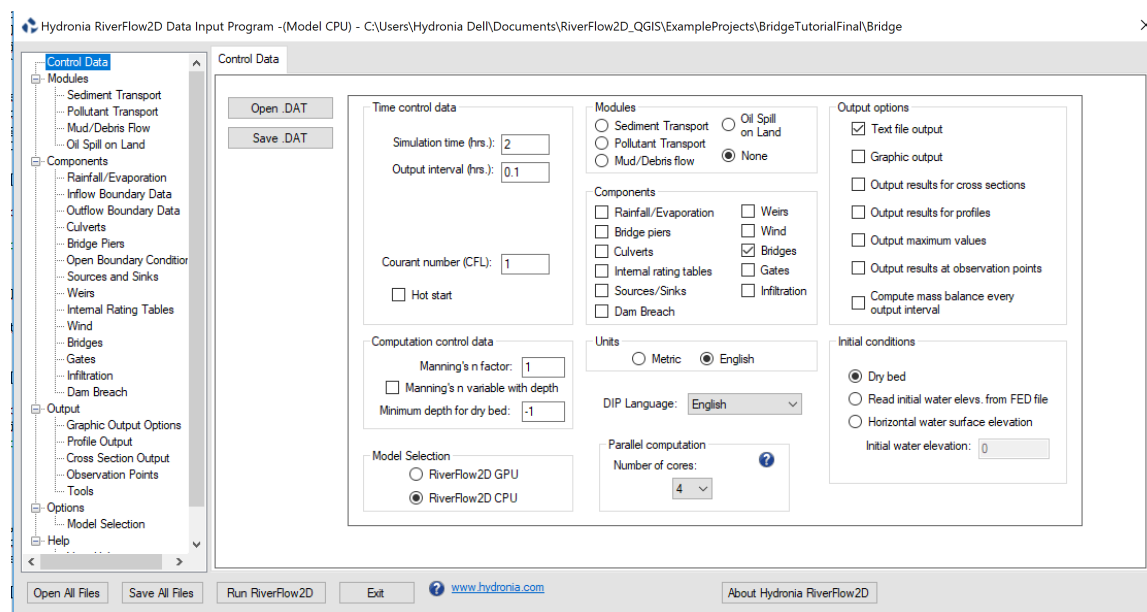


Figura 9.1 – Panel DIP *Control Data* con el componente Puentes seleccionado.

Los datos del plano del puente se ingresan en la capa OilFlow2D *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.

9.1.1 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.

9.1.1.1 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 9.2 – Vista frontal de una sección transversal de un puente.

- **BEDELEV:** R; -; metros o pies; Elevación de la cama. 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; Alzado 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.

9.1.2 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 OilFlow2D 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.

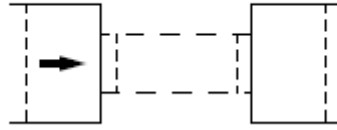


Figura 9.3 – Vista superior de un puente que muestra las secciones transversales de interés. Por simplicidad, sólo se representan dos pilares.

9.1.2.1 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.

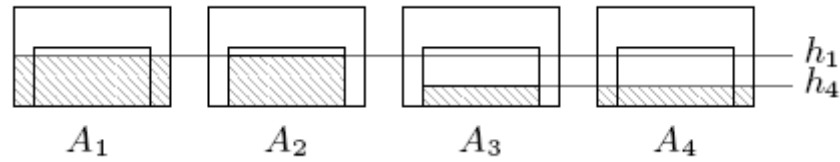


Figura 9.4 – Ejemplo sencillo de A_1 , A_2 , A_3 y A_4 utilizados para calcular la pérdida de carga en puentes de superficie libre.

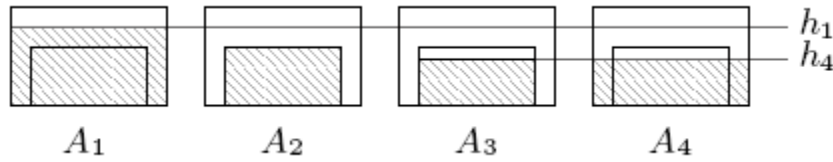


Figura 9.5 – Ejemplo simple de A_1 , A_2 , A_3 y A_4 utilizados para calcular la pérdida de carga en puentes parcialmente sumergidos.

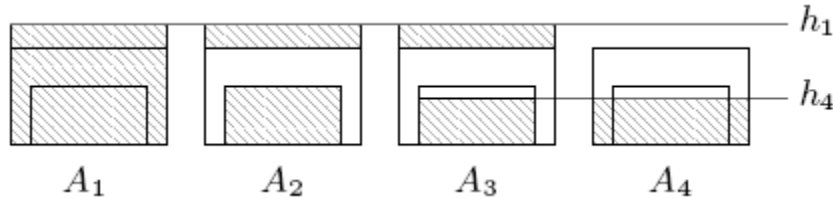


Figura 9.6 – Ejemplo simple de A_1 , A_2 , A_3 y A_4 utilizados para calcular la pérdida de carga en puentes completamente sumergidos.

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.

9.1.2.2 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.

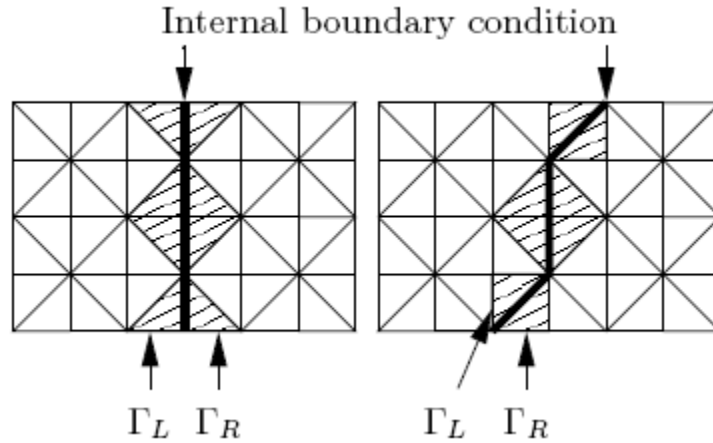


Figura 9.7 – Aplicación del esquema en mallas estructuradas triangulares. Puente normal (izquierda) y puente oblicuo (derecha).

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. 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 .

9.1.2.3 Influencia del ancho del puente

El algoritmo de cálculo utilizado en el componente Puentes ignora el efecto del ancho de la estructura (distancia perpendicular a la alineación del puente) sobre la pérdida de carga. Según y , el

ancho del puente tiene una 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-largo ($w: l$) de 1: 4, 1: 7 y 1: 13, donde w es la dimensión del muelle perpendicular a la dirección del flujo y l la longitud del muelle paralela al flujo. Yarnell señaló que la pérdida de energía aumentó menos del 10 % para la configuración con pilares más largos. realizó simulaciones numéricas para confirmar los experimentos de Yarnell utilizando pilares con las mismas relaciones entre longitud y longitud y una amplia gama de descargas de aproximación (ver Figura).

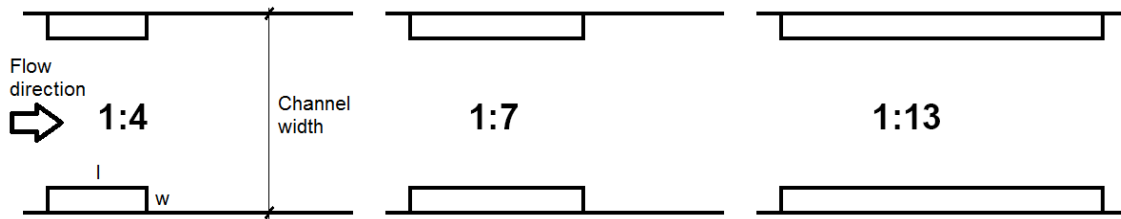


Figura 9.8 – Proporciones de los pilares del puente utilizadas para evaluar la influencia del ancho de la estructura.

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

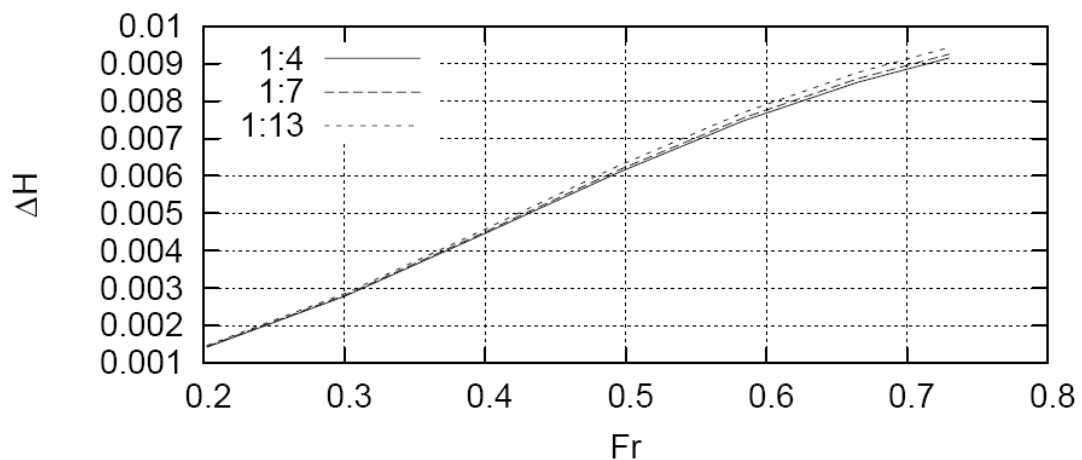


Figura 9.9 – Influencia del ancho de la estructura en el cambio de altura total (ΔH) a través del puente en función del número de Froude aguas abajo.

9.2 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.

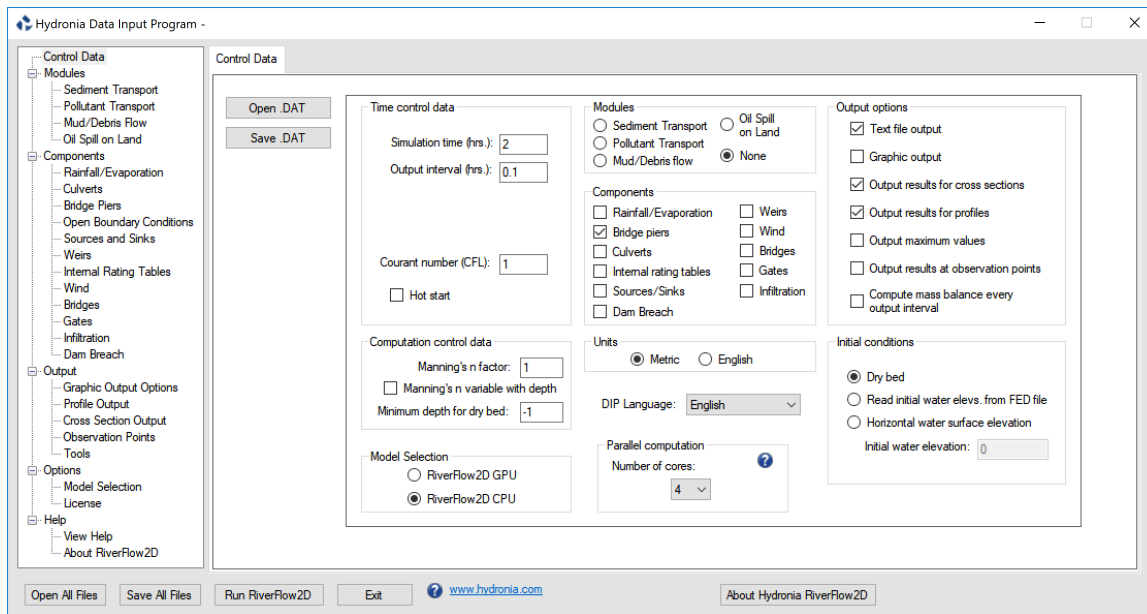


Figura 9.10 – Cuadro de diálogo DIP *Control Panel* con el componente Bridge Piers seleccionado.

Nota

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

9.2.1 Cálculo de pilas de puentes

El componente Bridge Pier se puede utilizar cuando el área del plano 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 muelle en función del coeficiente de arrastre, la densidad del agua, la velocidad del flujo y el área proyectada del muelle mojado 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 muelle, ρ es la densidad del agua, U es la velocidad del agua y A_P es el área húmeda del muelle 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 muelle como se muestra en la siguiente figura.

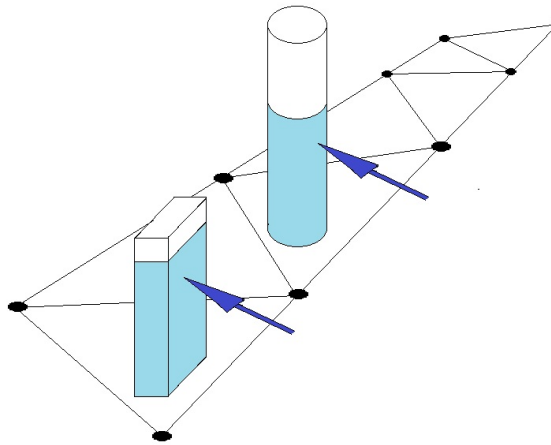


Figura 9.11 – Muelles dentro de las celdas.

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.

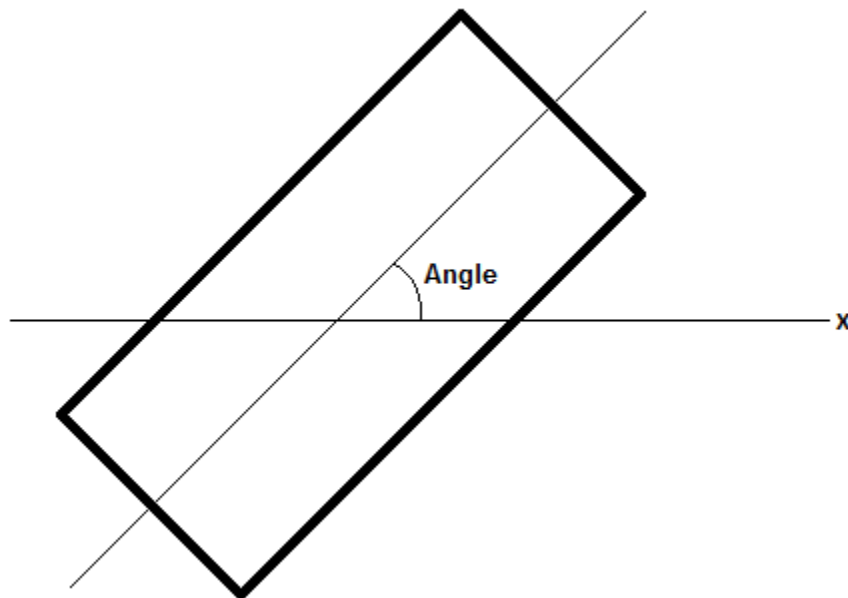


Figura 9.12 – Vista esquemática de un muelle rectangular.

Para representar pilares circulares, ingrese una longitud igual al diámetro del muelle 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 muelle ejerce sobre el flujo, OilFlow2D la convierte en esfuerzo cortante distribuido en la celda donde se encuentra la coordenada centroide del muelle. 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.

9.3 Componente de alcantarillas

El componente de alcantarilla en OilFlow2D 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.

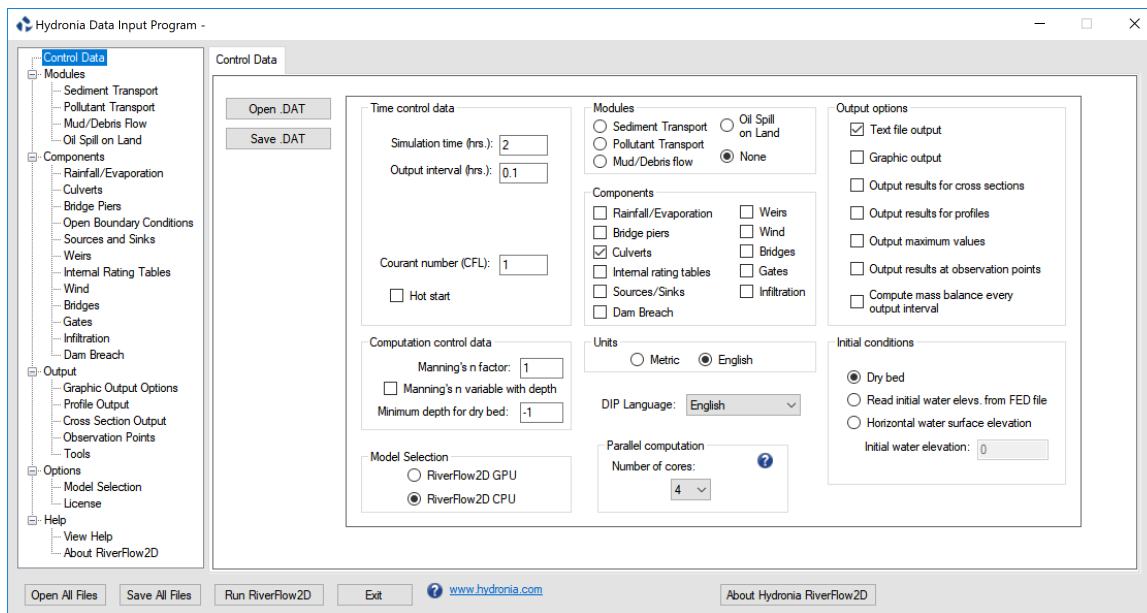


Figura 9.13 – Cuadro de diálogo DIP *Global Parameters* con el componente de alcantarillas seleccionado.

Hay dos opciones para calcular la descarga de la alcantarilla en OilFlow2D. 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.

9.3.1 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. Interpolan 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.

9.3.2 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,

$$C_c = Min \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\frac{1 - \frac{D_c}{H_h} (Y + mS_0)}{2c'}} \\ \frac{1}{\sqrt{2K'(1/M)}} \left(\frac{H_h}{D_c} \right)^{(\frac{1}{M} - 0.5)} \end{array} \right.$$

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, n_c es el n de Manning obtenido de la Tabla, L_c es la longitud de la alcantarilla y Y , K' , M , c' son coeficientes de control de entrada. (ver Tabla).

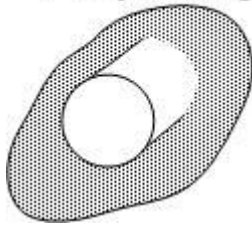
- **Hormigón:** Buenas juntas, paredes lisas; 0.012
- **Sobresaliendo del terraplén, extremo cortado en escuadra:** 0.015
- **Juntas deficientes, paredes rugosas:** 0.017
- **Metal corrugado:** corrugaciones de 2 - 2 / 3 inch $\times$ 1 / 2 inch; 0.025
- **Corrugaciones de 6 inch $\times$ 1 inch:** 0.024
- **Corrugaciones de 5 inch $\times$ 1 inch:** 0.026
- **Corrugaciones de 3 inch $\times$ 1 inch:** 0.028
- **Corrugaciones de 6 inch $\times$ 2 inch:** 0.034
- **Corrugaciones de 9 inch $\times$ 2-1/2 inch:** 0.035
- **Tubería de hormigón:** Sobresaliendo del terraplén, extremo ranurado; 0.2
- **Sobresaliendo del terraplén, extremo cortado en escuadra:** 0.5
- Cabecera o cabecera con paredes laterales (hormigón o sacos de arena de cemento)
- **Extremo de tubería ranurado:** 0.2
- **Extremo de tubería cortado en escuadra:** 0.5
- **Extremo de tubería redondeado:** 0.1
- **Extremo en inglete que se ajusta a la pendiente del terraplén:** 0.7
- Sección final fabricada de metal u hormigón que se ajusta a la pendiente del terraplén
- **Sin rejilla:** 0.5
- **Con rejilla:** 0.7
- **Tubería de metal corrugado o arco de tubería:** Sobresaliendo del terraplén (sin cabecera); 0.9
- **Cabecera con o sin paredes laterales (hormigón o sacos de arena de 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 ajusta a la pendiente del terraplén
- **Sin rejilla:** 0.5
- **Con rejilla:** 0.7
- **Caja de hormigón armado:** Cabecera paralela al terraplén (sin paredes laterales)
- **Con borde en escuadra en tres lados:** 0.5

- **Redondeado en tres lados con radio de 1/12 de la dimensión del conducto:** 0.2
- Paredes laterales a 30 ° a 75 ° respecto al conducto
- **Con borde en escuadra en la corona:** 0.4
- **Borde de corona redondeado a un radio de 1/12 de la dimensión del conducto:** 0.2
- Paredes laterales a 10 ° a 30 ° respecto al conducto
- **Con borde en escuadra en la corona:** 0.5
- Paredes laterales paralelas al terraplén
- **Con borde en escuadra en la corona:** 0.7
- Circular **Concrete:**; Cabecera; borde cuadrado; 0.3153; 2.0000; 1.2804; 0.6700
- Circular **Concrete:**; Cabecera; borde ranurado; 0.2509; 2.0000; 0.9394; 0.7400
- Circular **Concrete:**; Saliente; borde ranurado; 0.1448; 2.0000; 1.0198; 0.6900
- Circular **Cor. metal:**; Cabecera; 0.2509; 2.0000; 1.2192; 0.6900
- Circular **Cor. metal:**; Inglete a pendiente; 0.2112; 1.3300; 1.4895; 0.7500
- Circular **Cor. metal:**; Saliente; 0.4593; 1.5000; 1.7790; 0.5400
- Circular **Concrete:**; Anillo biselado; biseles 45 °; 0.1379; 2.5000; 0.9651; 0.7400
- Circular **Concrete:**; Anillo biselado; biseles 33.7 °; 0.1379; 2.5000; 0.7817; 0.8300
- **Concrete:** Rectángulo; Paredes de ala; 30 ° a 75 ° bengalas; borde cuadrado; 0.1475; 1.0000; 1.2385; 0.8100
- **Concrete:** Rectángulo; Paredes de ala; bengalas 90 ° y 15 °; borde cuadrado; 0.2242; 0.7500; 1.2868; 0.8000
- **Concrete:** Rectángulo; Paredes de ala; bengalas 0 °; borde cuadrado; 0.2242; 0.7500; 1.3608; 0.8200
- **Concrete:** Rectángulo; Paredes de ala; 45 ° llamarada; borde biselado; 1.6230; 0.6670; 0.9941; 0.8000
- **Concrete:** Rectángulo; Paredes de ala; 18 ° a 33.7 ° destello; borde biselado; 1.5466; 0.6670; 0.8010; 0.8300
- **Concrete:** Rectángulo; Cabecera; chaflanes en pulgadas 3 / 4; 1.6389; 0.6670; 1.2064; 0.7900
- **Concrete:** Rectángulo; Cabecera; biseles 45 °; 1.5752; 0.6670; 1.0101; 0.8200
- **Concrete:** Rectángulo; Cabecera; biseles 33.7 °; 1.5466; 0.6670; 0.8107; 0.8650
- **Concrete:** Rectángulo; Cabecera; 45 ° sesgado; 3 / 4 en chaflanes; 1.6611; 0.6670; 1.2932; 0.7300

- **Concrete:** Rectángulo; Cabecera; 30 ° sesgado; 3 / 4 en chaflanes; 1.6961; 0.6670; 1.3672; 0.7050
- **Concrete:** Rectángulo; Cabecera; 15 ° sesgado; 3 / 4 en chaflanes; . 7343; 0.6670; 1.4493; 0.6800
- **Concrete:** Rectángulo; Cabecera; 10 - 45 ° sesgado; biseles 45 °; 1.5848; 0.6670; 1.0520; 0.7500
- **Concrete:** Rectángulo; Paredes de ala; sin compensación 45 ° /flares;; 1.5816; 0.6670; 1.0906; 0.8030
- **Concrete:** Rectángulo; Paredes de ala; sin compensación 18.4 ° /flares; 3 / 4 en chaflanes; 1.5689; 0.6670; 1.1613; 0.8060
- **Concrete:** Rectángulo; Paredes de ala; sin compensación 18.4 ° /flares; 30 ° /barril torcido; 1.5752; 0.6670; 1.2418; 0.7100
- **Concrete:** Rectángulo; Paredes de ala; desplazamiento 45 ° /flares; borde superior biselado; 1.5816; 0.6670; 0.9715; 0.8350
- **Concrete:** Rectángulo; Paredes de ala; desplazamiento 33.7 ° /flares; borde superior biselado; 1.5752; 0.6670; 0.8107; 0.8810
- **Concrete:** Rectángulo; Paredes de ala; desplazamiento 18.4 ° /flares; bisel del borde superior; 1.5689; 0.6670; 0.7303; 0.8870
- **Cor. metal:** Rectángulo; Cabecera; 0.2670; 2.0000; 1.2192; 0.6900
- **Cor. metal:** Rectángulo; Saliente; pared gruesa; 0.3023; 1.7500; 1.3479; 0.6400
- **Cor. metal:** Rectángulo; Saliente; pared delgada; 0.4593; 1.5000; 1.5956; 0.5700
- Circular **Concrete:**; Garganta cónica; 1.3991; 0.5550; 0.6305; 0.8900
- Circular **Cor. metal:**; Garganta cónica; 1.5760; 0.6400; 0.9297; 0.9000
- **Concrete:** Rectángulo; Garganta cónica; 1.5116; 0.6670; 0.5758; 0.9700
- Circular **Concrete:**; Cabecera; borde cuadrado; 0.3153; 2.0000; 1.2804; 0.6700
- Circular **Concrete:**; Cabecera; borde ranurado; 0.2509; 2.0000; 0.9394; 0.7400
- Circular **Concrete:**; Saliente; borde ranurado; 0.1448; 2.0000; 1.0198; 0.6900
- Circular **Cor. metal:**; Cabecera; 0.2509; 2.0000; 1.2192; 0.6900
- Circular **Cor. metal:**; Inglete a pendiente; 0.2112; 1.3300; 1.4895; 0.7500
- Circular **Cor. metal:**; Saliente; 0.4593; 1.5000; 1.7790; 0.5400
- Circular **Concrete:**; Anillo biselado; biseles 45 °; 0.1379; 2.5000; 0.9651; 0.7400
- Circular **Concrete:**; Anillo biselado; biseles 33.7 °; 0.1379; 2.5000; 0.7817; 0.8300

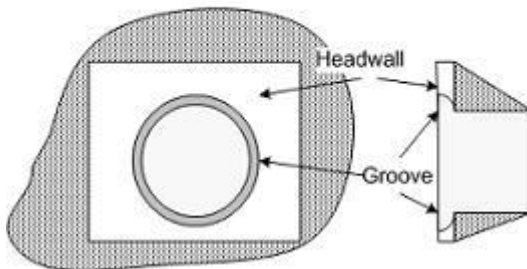
- **Concrete:** Rectángulo; Paredes de ala; 30 ° a 75 ° bengalas; borde cuadrado; 0.1475; 1.0000; 1.2385; 0.8100
- **Concrete:** Rectángulo; Paredes de ala; bengalas 90 ° y 15 °; borde cuadrado; 0.2242; 0.7500; 1.2868; 0.8000
- **Concrete:** Rectángulo; Paredes de ala; bengalas 0 °; borde cuadrado; 0.2242; 0.7500; 1.3608; 0.8200
- **Concrete:** Rectángulo; Paredes de ala; 45 ° llamarada; borde biselado; 1.6230; 0.6670; 0.9941; 0.8000
- **Concrete:** Rectángulo; Paredes de ala; 18 ° a 33.7 ° destello; borde biselado 1.5466; 0.6670; 0.8010; 0.8300
- **Concrete:** Rectángulo; Cabecera; chaflanes en pulgadas 3 / 4; 1.6389; 0.6670; 1.2064; 0.7900
- **Concrete:** Rectángulo; Cabecera; biseles 45 °; 1.5752; 0.6670; 1.0101; 0.8200

Projecting



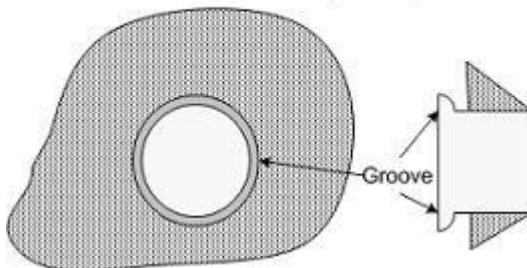
- : El extremo del cañón de la alcantarilla sobresale del terraplén.

Grooved Pipe with Headwalls



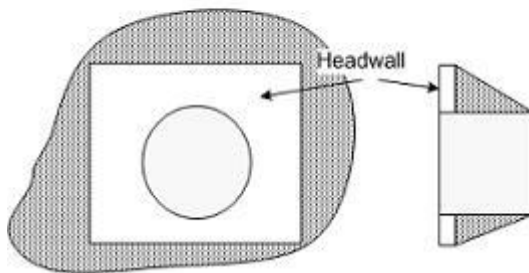
- : El tubo ranurado para alcantarillas de hormigón disminuye las pérdidas de energía a través de la entrada de la alcantarilla.

Grooved Pipe Projecting



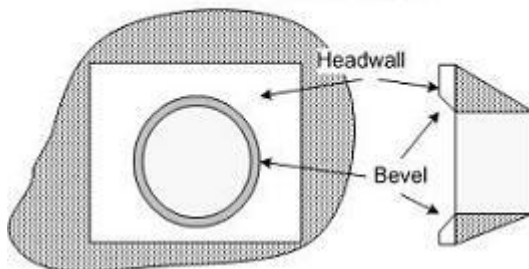
- : Esta opción es para alcantarillas de tuberías de hormigón.

Square Edge with Headwalls



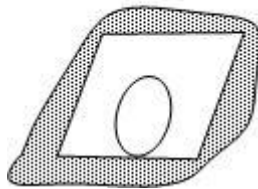
- : El borde cuadrado con el muro cabecera es una condición de entrada donde la entrada de la alcantarilla está al ras con el muro cabecera.

Beveled Edge with Headwalls



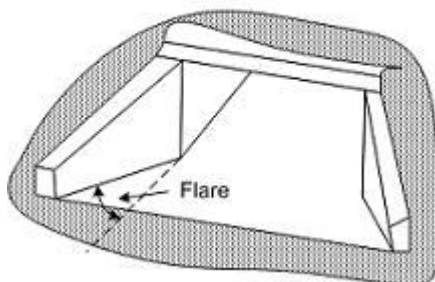
- : 'Bordes biselados' es un borde de entrada cónico que disminuye la pérdida de carga cuando el flujo ingresa al cilindro de la alcantarilla.

Mitered



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

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.

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.

9.3.3 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 aguas arriba, H , es mayor que $1.2D$, donde D es el diámetro de la alcantarilla circular o la altura de las alcantarillas tipo caja.

9.3.4 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.

9.3.4.1 Descripción general

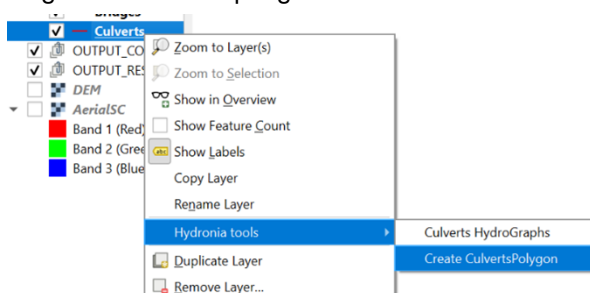
Para alcantarillas con BCType = 11, 12, 14 y 15, el marco de modelado requiere definir polígonos de entrada y salida para especificar las celdas de la cuadrícula involucradas en el proceso de intercambio de volumen. Para facilitar esto, el software incluye una herramienta dedicada que genera una capa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

9.3.4.2 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.

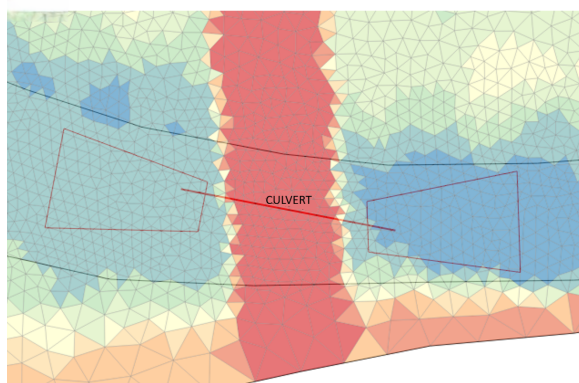


Figura 9.14 – Polígonos de alcantarilla de entrada y salida.

9.3.4.3 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 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.

9.3.4.4 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.

9.4 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 (ver Figura). La figura muestra los modos de flujo que se pueden calcular a través de compuertas que incluyen inmersión y desbordamiento.

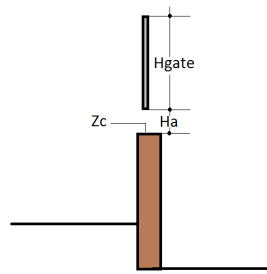


Figura 9.15 – Vista esquemática de corte perpendicular a la estructura de una puerta.

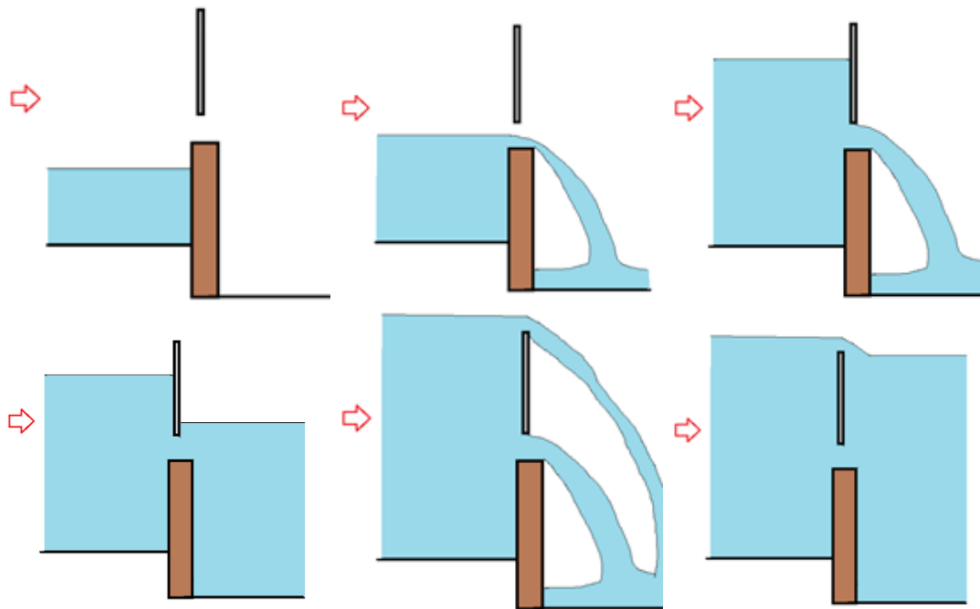


Figura 9.16 – Modos de flujo a través de compuertas.

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.

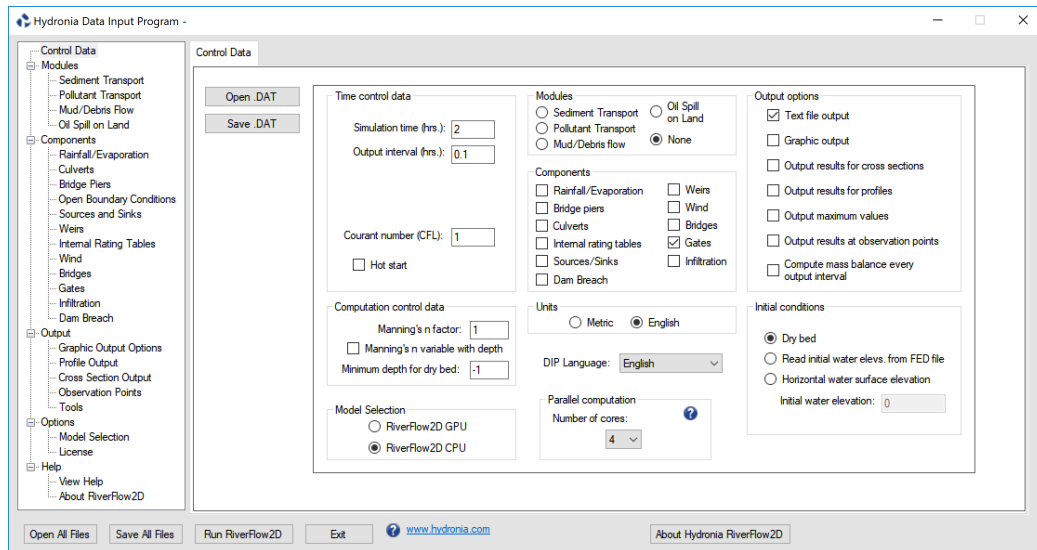


Figura 9.17 – Panel DIP *Control Data* con el componente Gates seleccionado.

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.

9.4.1 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 $G_o + \max(z_l, z_r) < \min(d_l, d_r)$, Figura, 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 OilFlow2D $K_1 = 3.33$.

Cuando $G_o + \max(z_l, z_r) > \min(d_l, d_r)$, Figura, 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.

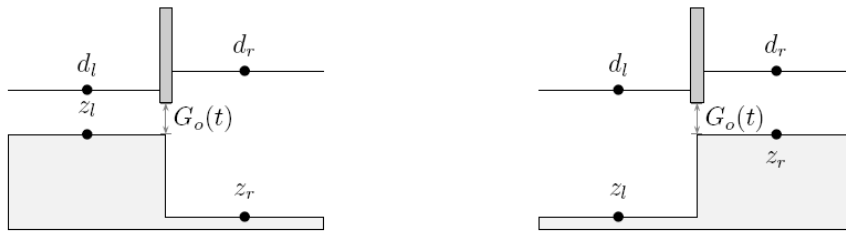


Figura 9.18 – Niveles de agua para descarga bajo compuerta en condiciones sumergidas formulados como en (G1).



Figura 9.19 – Niveles de agua para descarga bajo compuerta en condiciones sumergidas formulados como en (G2).

9.5 Infiltración

- La infiltración representa otro componente del balance hidrológico y puede definirse como el proceso por el cual el agua superficial entra en el suelo. En OilFlow2D, la infiltración se trata como una pérdida. Este proceso está gobernado principalmente por dos fuerzas: la gravedad y la acción capilar. El modelo proporciona tres métodos para calcular las pérdidas por infiltración: Horton, Green: Ampt y SCS-Número de curva (SCS-CN).

Nota

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

9.5.1 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. Una buena fuente de valores experimentales de estos parámetros para diferentes tipos de suelos se puede encontrar y resumir en. Tabla y Tabla muestran los parámetros para algunos tipos generales de suelo, como se presenta en. Tenga en cuenta que no se muestran valores 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 arcillo-arenoso:** 1.3 - 3.8
- **Franco limoso, franco:** 3.8 - 7.6
- **Arena, arena franca, francos arenosos:** 7.6 - 11.4

La ecuación debe aplicarse después del encharcamiento superficial. En otras palabras, 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:

$$R \leq f_p \Rightarrow f = R \qquad R > f_p, t > t_p \Rightarrow f = f_p$$

donde t_p representa el tiempo de estanqueidad.

Siguiendo, para los dos primeros intervalos de lluvia, la intensidad de la lluvia es menor que la capacidad de infiltración, por lo que la tasa de infiltración real es igual a la tasa de lluvia. Debido a este hecho, la capacidad de infiltración real no disminuye como lo indica la ecuación de Horton. La razón, como se indicó anteriormente, es el supuesto del modelo de Horton de que el suministro de agua siempre excede la capacidad de infiltración desde el principio. Por lo tanto, el suelo tiene más capacidad de infiltración y tenemos que calcular la infiltración real en $t = 20$ min, por lo que necesitamos determinar el tiempo de encharcamiento t_p resolviendo:

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

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 :

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

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 reemplazando $f_c = f_p$ y $t = t - t'$, siendo t' en el 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:

$$f_p \leq R$$

9.5.2 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, tal como se presenta en.

- **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 proporciona la infiltración acumulativa:

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

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

Ecuaciones y suponemos 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 . De :

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

El resultado de la ecuación. 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. 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 ecuaciones y se puede calcular una capacidad de infiltración tentativa $f'_{p,t+\Delta t}$. Si $f'_{p,t+\Delta t} > i$, no hay estanqueidad durante el intervalo, la suposición es correcta y el problema corresponde a la situación número 2 , entonces $F'_{t+\Delta t} = F_{t+\Delta t}$. Si es $f'_{p,t+\Delta t} \leq i$, hay condiciones de estanqueidad dentro del intervalo (caso 3). La infiltración acumulada en el momento del estancamiento F_p se encuentra tomando $f_p = i$ y $F = F_p$ en:

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

Luego, el tiempo de acumulación se calcula como $t + \Delta t'$, donde:

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

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

9.5.3 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 y y tomando en consideración que el escurrimiento no puede iniciarse hasta que se haya cumplido con la extracción 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 OilFlow2D, 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 en.

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 esorrentía 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 y resolviendo para F :

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

Al diferenciar , teniendo en cuenta que I_a y S son magnitudes constantes, se obtiene la siguiente expresión para la tasa de infiltración:

$$f = \frac{dF}{dt} = \frac{S^2 R}{RV - I_a + S}$$

siendo R la tasa de precipitación, definida de la siguiente manera:

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

9.5.3.1 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.

- **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 según las Ecs. y :

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

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

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

9.6 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:

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

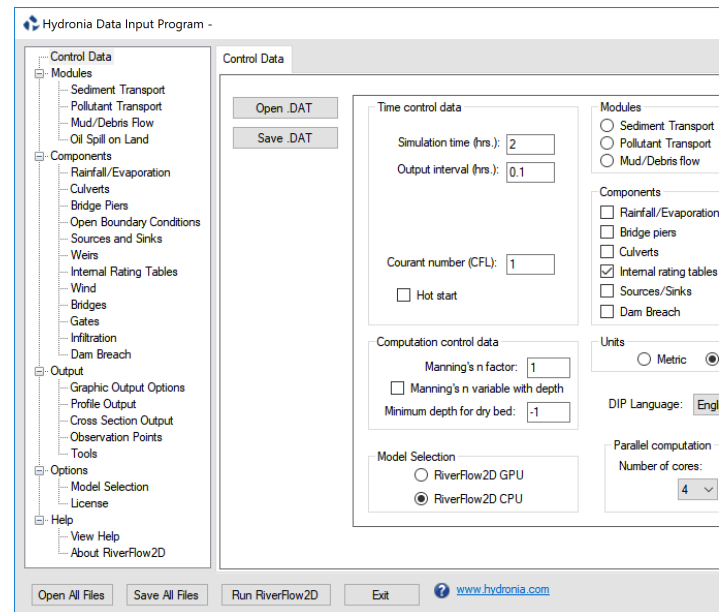
9.7 Tablas de aforo internas

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.

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.

9.7.1 Cálculos de tablas de aforo internas

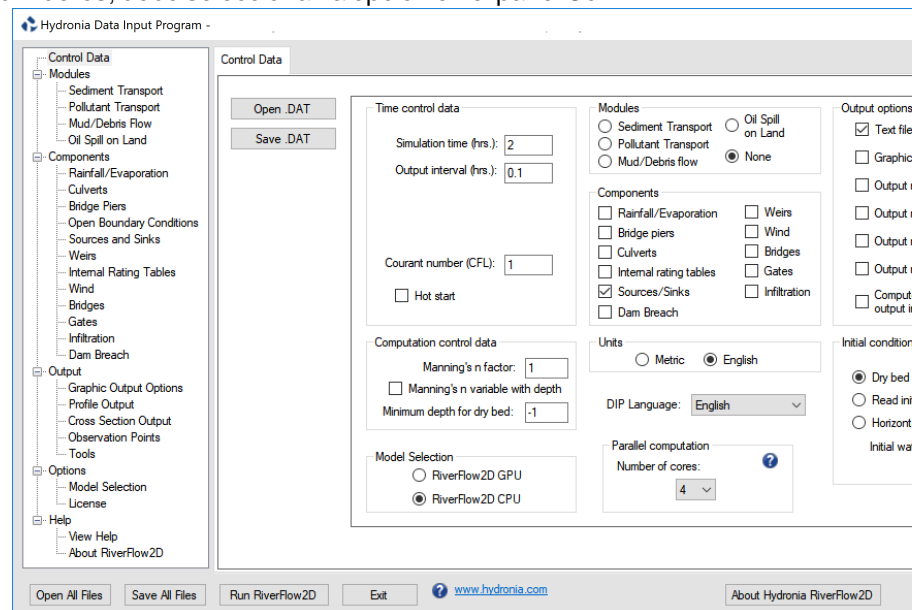
Se implementa una tabla de clasificación interna como un conjunto de valores de caudal total en función del nivel de la superficie del agua $Q = Q(h + z)$. Esta tabla se define a lo largo de una polilínea en la malla. Primero, se calcula un nivel promedio común de la superficie del agua considerando 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.

9.7.2 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-*



rol Data de DIP como se muestra en la Figura.

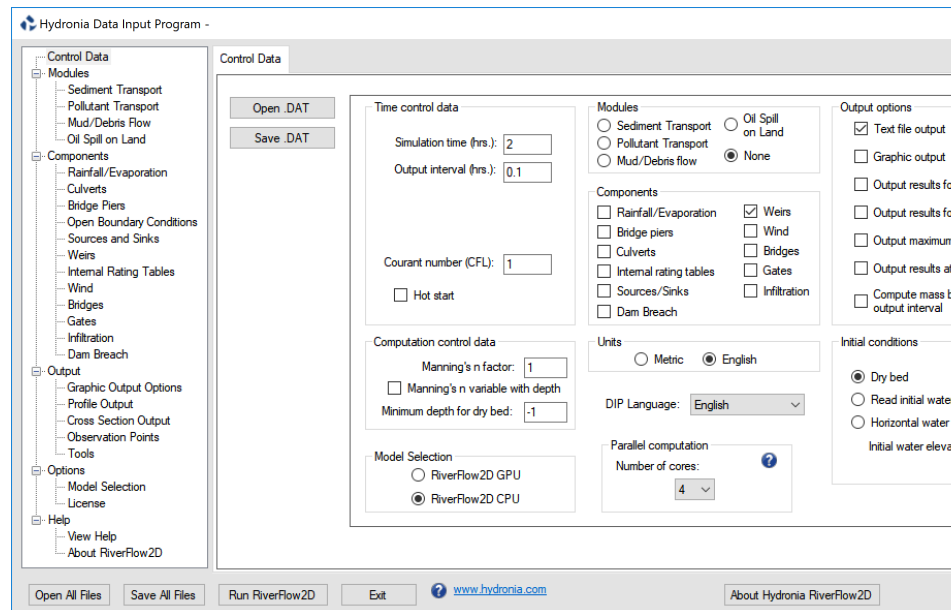
Los datos de fuentes y sumideros se ingresan en la capa OilFlow2D Sources.

Nota

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

9.8 Vertederos

El componente OilFlow2D *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.

Los datos del plan de vertedero se ingresan en la capa QGIS *Weirs*. Dado que OilFlow2D 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 dato del vertedero en la capa *Weirs*.

Nota

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

9.8.1 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 a las células como a las mismas.

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

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

9.8.2 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.

9.9 Modelado de rotura de presa

El componente OilFlow2D 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.

9.9.1 Rotura de presa prescrita

En OilFlow2D, la presa se define como una condición de límite interno y se modela como un trapecioide progresivo. Para una parametrización completa de la infracción se utilizan los siguientes parámetros y variables (ver Figura):

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

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

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

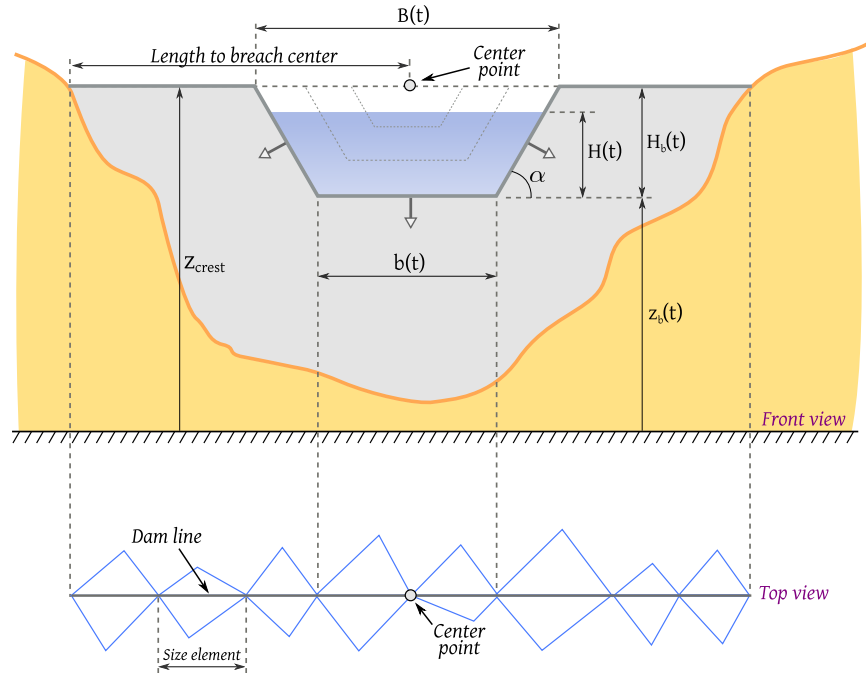


Figura 9.20 – Dimensiones esquemáticas para el modo de falla de rotura de presa prescrito.

9.9.2 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 (Ver Figura). 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).

9.10 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:

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

ser:

- 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.

9.11 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 (ver Figura). 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 (Figura). 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:

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

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

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

ser:

- 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 Ecs. y , 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:

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

9.12 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 (ver Figura). 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.

9.13 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.

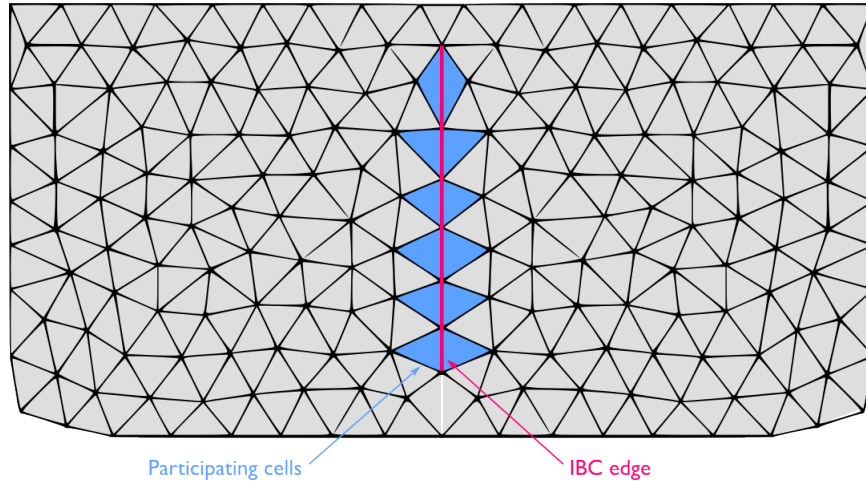


Figura 9.21 – Celdas de límite interno.

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:

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

donde $(\tau_e - \tau_c)_b^n$ representa el esfuerzo cortante erosivo en la brecha evaluado en el nivel 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 integradas de la brecha A , f , L y 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. Independientemente 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 $\hat{n}_b$ y su módulo se actualiza como:

$$q_L^{n+1} = q_R^{n+1} = \frac{l}{W_b} Q_b^{n+1}$$

siendo W_b el ancho total de la brecha y l la longitud del borde compartido para cada par de celdas de límite interno.

10

Programa de entrada de datos de Hydronia (DIP)

La interfaz de usuario DIP proporciona las herramientas para introducir datos no espaciales y ejecutar OilFlow2D. Todos los cambios introducidos en DIP se guardan en los archivos de datos nativos de OilFlow2D.

El DIP aparece cuando exporta los archivos a OilFlow2D desde QGIS. También puede acceder al DIP haciendo doble clic en el icono DIP  en el escritorio. En ese caso, el programa te dará una lista de proyectos anteriores y te permitirá abrir cualquiera de ellos:

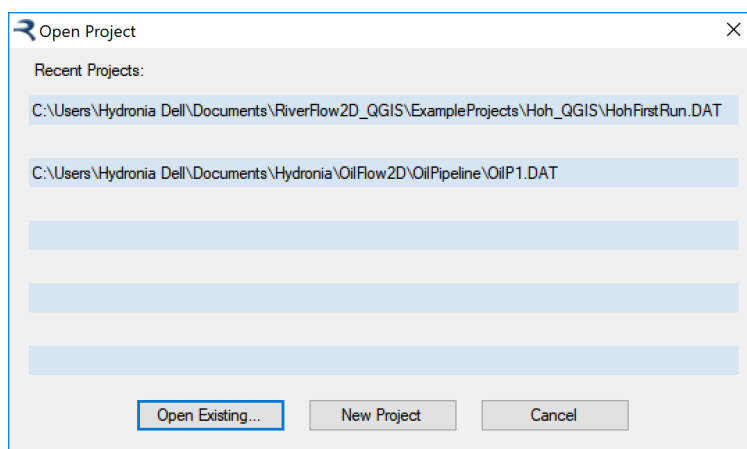


Figura 10.1 – Diálogo para abrir un proyecto en DIP.

DIP proporciona un entorno de entrada de datos con paneles que incluyen todas las opciones no espaciales para ejecutar OilFlow2D. La columna izquierda de la ventana principal permite seleccionar módulos, componentes, opciones de salida, etc. Al hacer clic en una de las celdas, se activa el panel correspondiente del lado derecho. Cada panel contiene los datos correspondientes a un

archivo de datos de OilFlow2D. Por ejemplo, el panel *Control Data* contiene todos los datos del archivo.

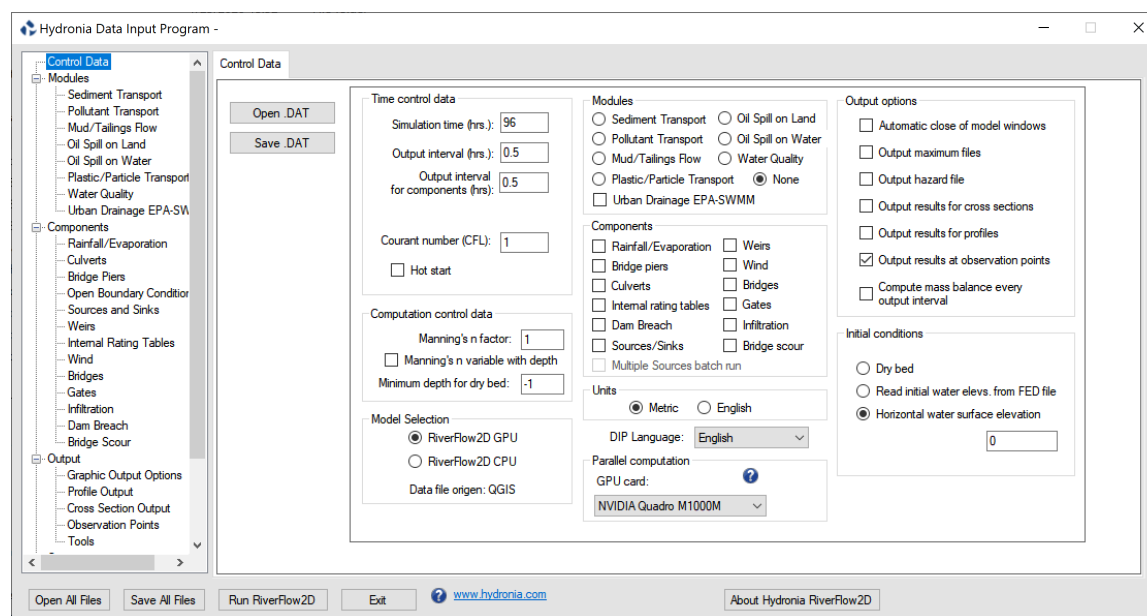


Figura 10.2 – Ventana principal de DIP.

DIP permite seleccionar distintos motores del modelo. Mediante las opciones del marco *Model Selection* puede elegir entre OilFlow2D CPU y OilFlow2D GPU. Para ejecutar la versión GPU necesita el hardware GPU adecuado. Póngase en contacto con Hydronia en <mailto:support@hydronia.com> para consultar las tarjetas GPU NVIDIA compatibles actualmente.

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

10.1 Panel Control Data (archivo .DAT)

Este panel determina las opciones generales de ejecución, como los parámetros de control del paso de tiempo, las unidades métricas o inglesas, los procesos físicos (componentes), las salidas gráficas y las condiciones iniciales. También proporciona botones para abrir y guardar archivos y ejecutar el modelo OilFlow2D. El programa se inicia con el panel *Control Data* visible.

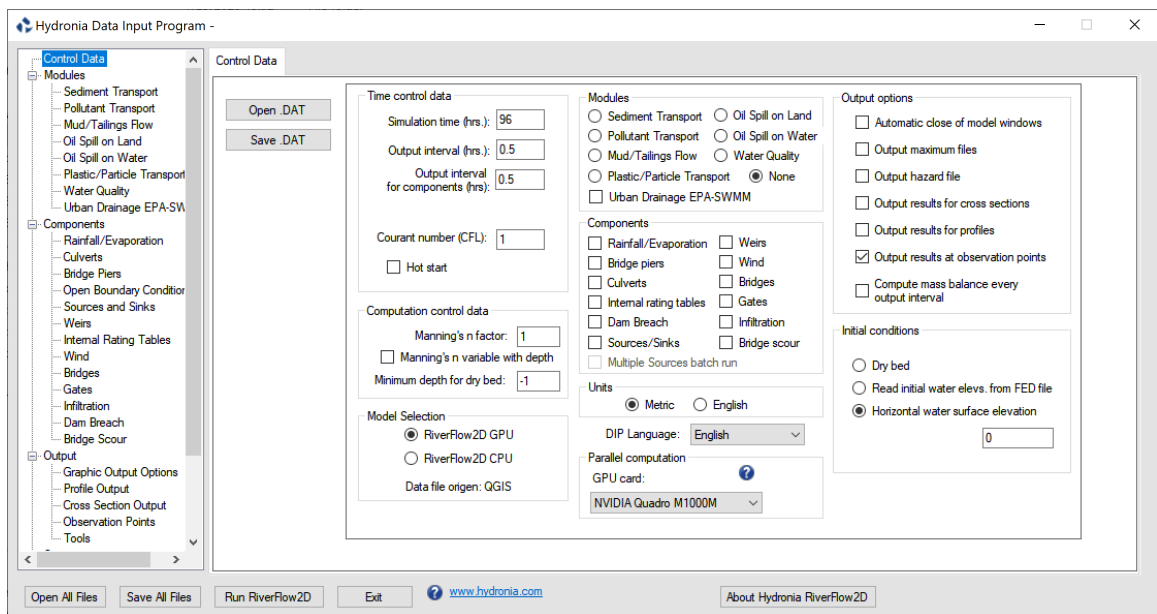


Figura 10.3 – Panel Control Data.

- **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 OilFlow2D:** Ejecuta OilFlow2D.
- **Exit:** Cierra DIP.
- **About DIP:** Muestra una descripción concisa de OilFlow2D.
- **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 OilFlow2D 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 versus 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.
- **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 el modelado del transporte de contaminantes. Los datos del transporte de contaminantes se pueden editar en el panel *Pollutant Transport*. Los datos se escriben en el archivo correspondiente.
- **Urban Drainage EPA-SWMM:** Interruptor para integrar el agua superficial con el modelo de drenaje pluvial EPA-SWMM. 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.

10.2 Derrame de petróleo sobre tierra para el modelo OilFlow2D (archivo .OILP)

Este panel permite introducir las propiedades del fluido viscoso para el modelo OilFlow2D. Para activarlo, seleccione primero *Oil Spill on Land* en el marco *Components* del panel *Control Data*.

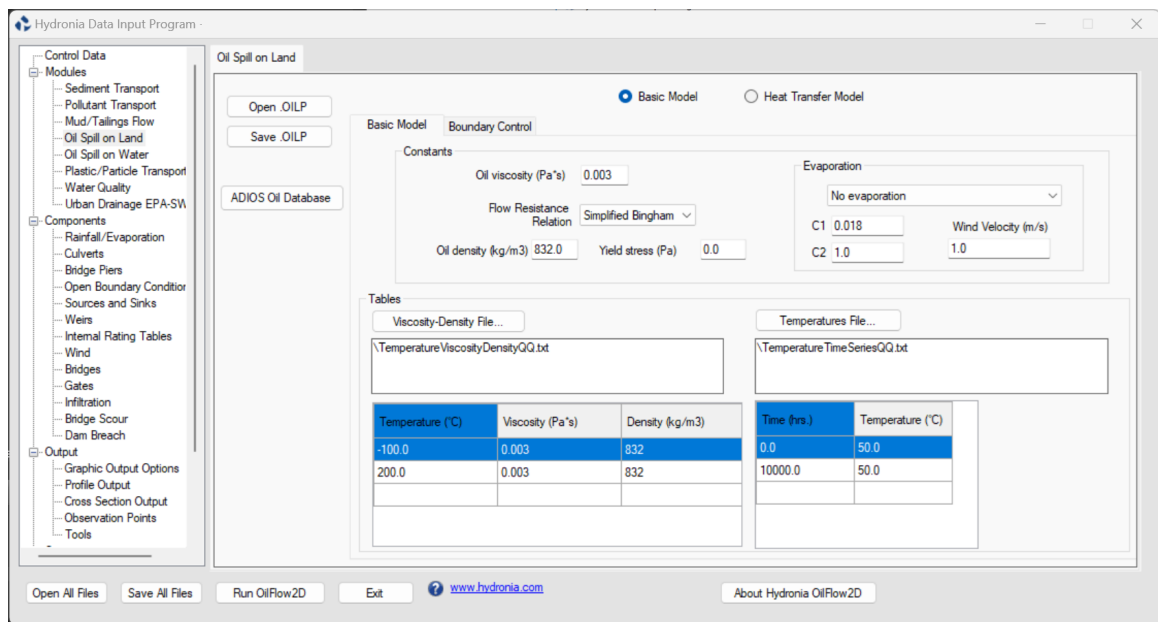


Figura 10.4 – Panel del modelo básico de Oil Spill on Land (modelo OilFlow2D).

Relación de resistencia al flujo:

1. Full Bingham
2. Simplified Bingham
3. Quadratic

- **Oil Viscosity:** Viscosidad del fluido (Poise o lb/in^2).
- **Oil density:** Densidad del fluido (kg/m^3 o lb/ft^3).
- **Temperature:** Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$ o $^{\circ}\text{F}$).
- **Yield stress:** Esfuerzo de fluencia (Pa o lb/in^2).

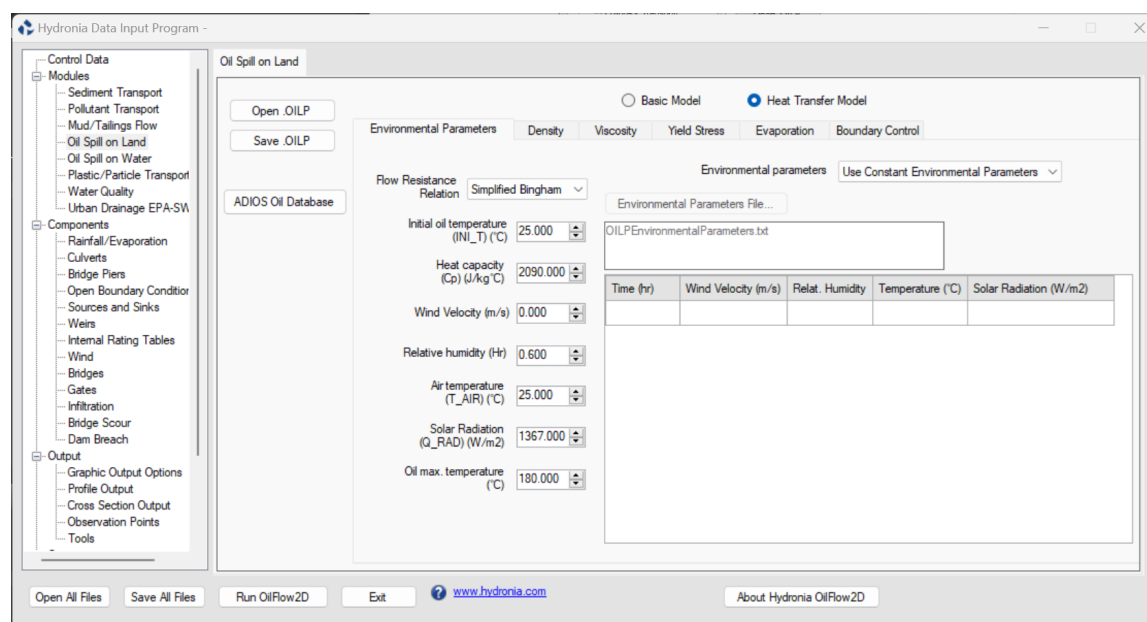


Figura 10.5 – Panel del modelo de transferencia de calor de Oil Spill on Land. Pestaña Environmental Parameters (modelo OilFlow2D).

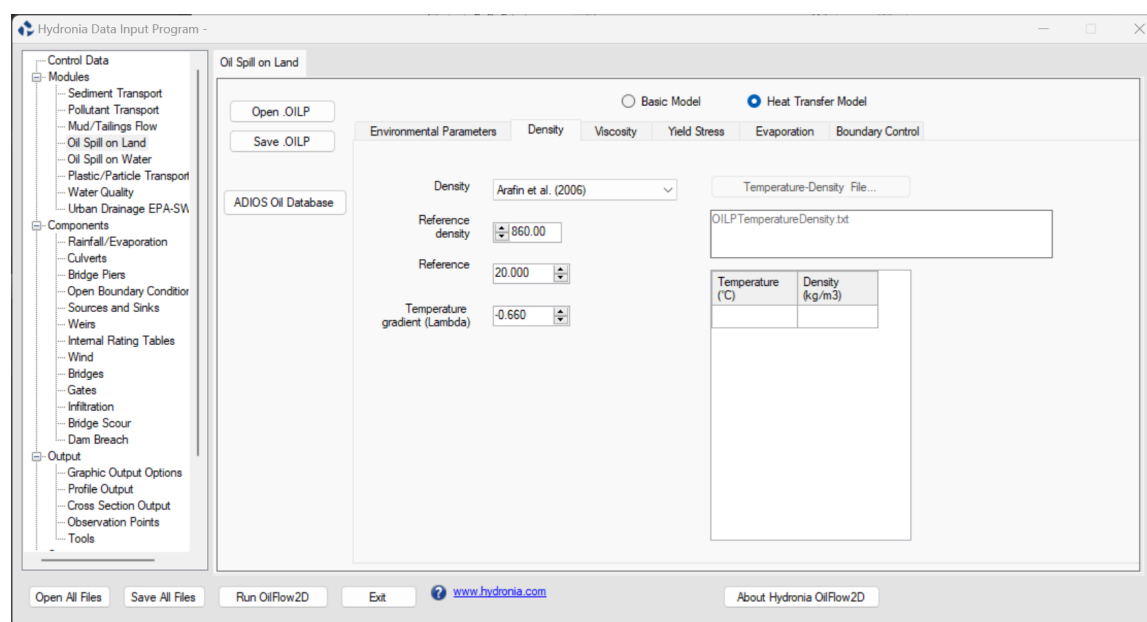


Figura 10.6 – Panel del modelo de transferencia de calor de Oil Spill on Land. Pestaña Density (modelo OilFlow2D).

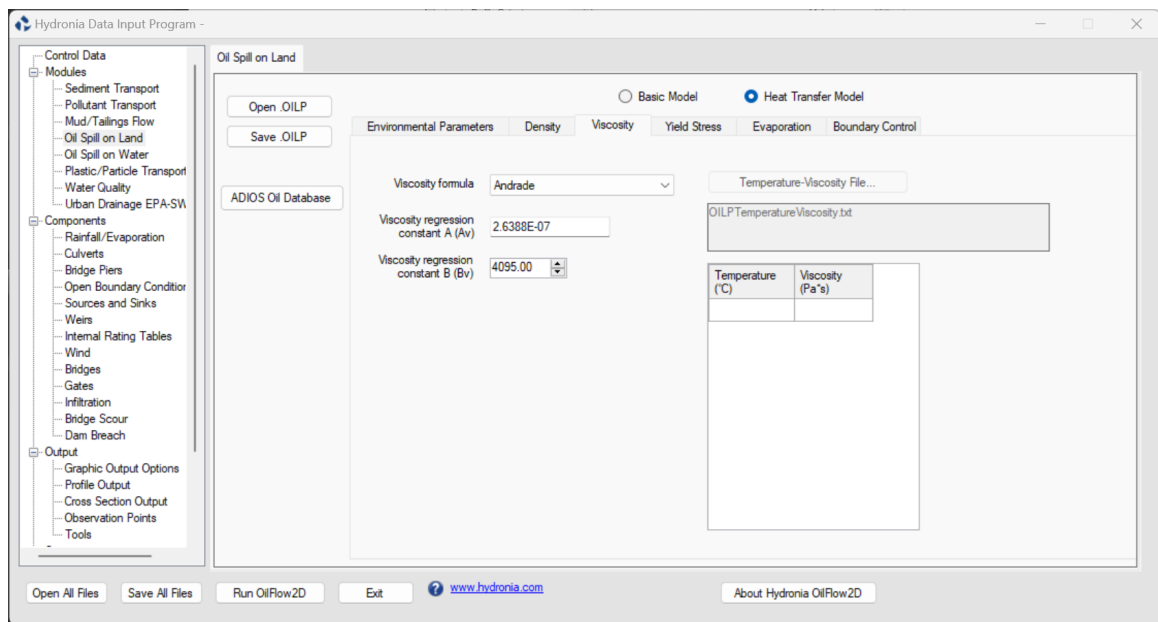


Figura 10.7 – Panel del modelo de transferencia de calor de Oil Spill on Land. Pestaña Viscosity (modelo OilFlow2D).

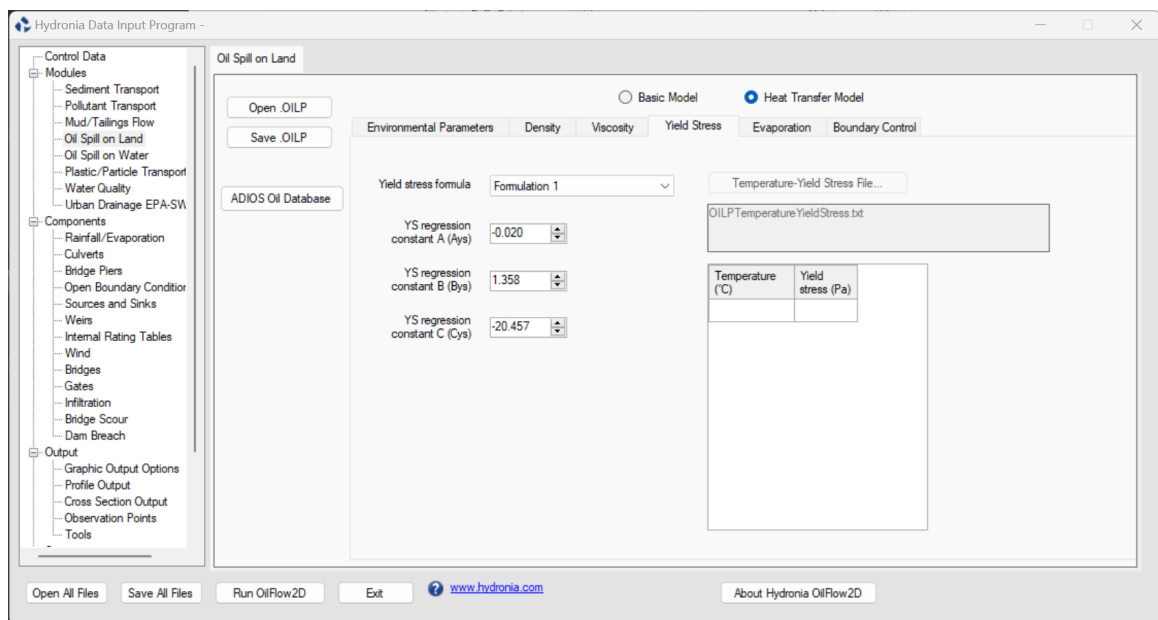


Figura 10.8 – Panel del modelo de transferencia de calor de Oil Spill on Land. Pestaña Yield Stress (modelo OilFlow2D).

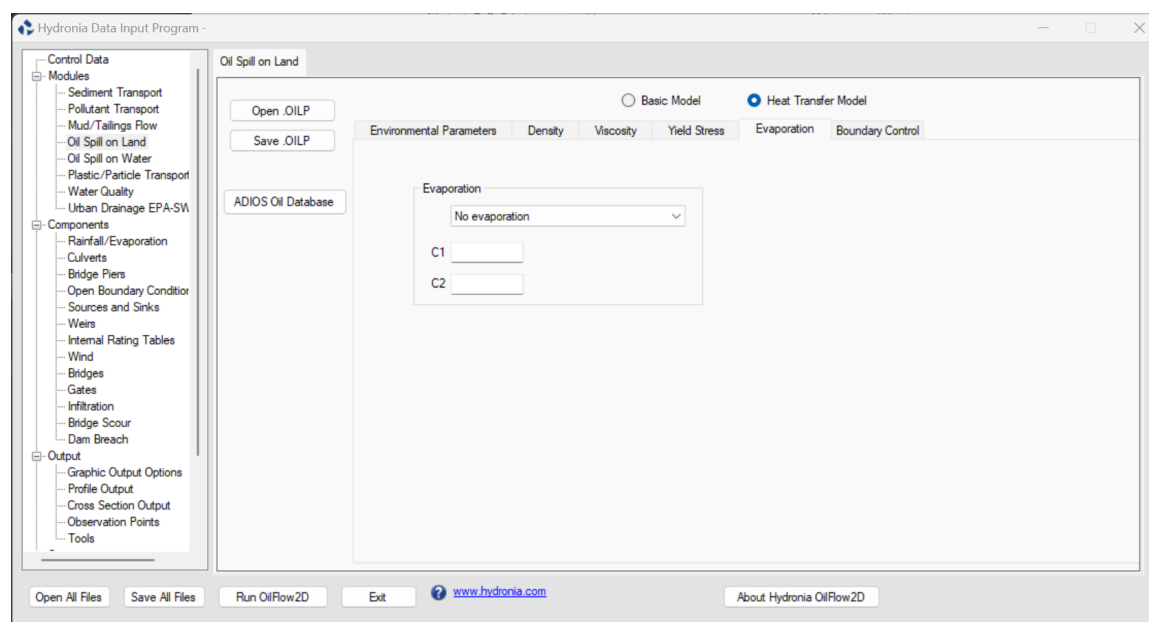


Figura 10.9 – Panel del modelo de transferencia de calor de Oil Spill on Land. Pestaña Evaporation (modelo OilFlow2D).

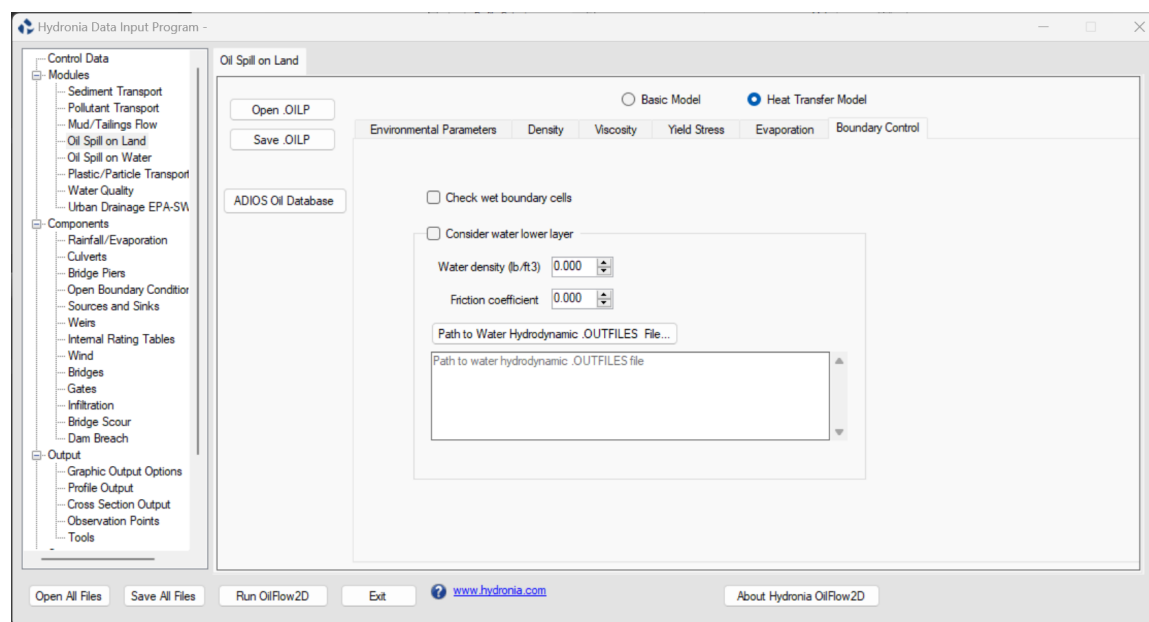


Figura 10.10 – Panel del modelo de transferencia de calor de Oil Spill on Land. Pestaña Boundary Control (modelo OilFlow2D).

10.3 Módulo de derrame de petróleo sobre agua (archivo .OILW)

Este panel permite introducir datos para el módulo Oil Spill on Water de OilFlow2D. Para activarlo, seleccione primero *Oil Spill on Water* en el marco *Components* del panel *Control Data*.

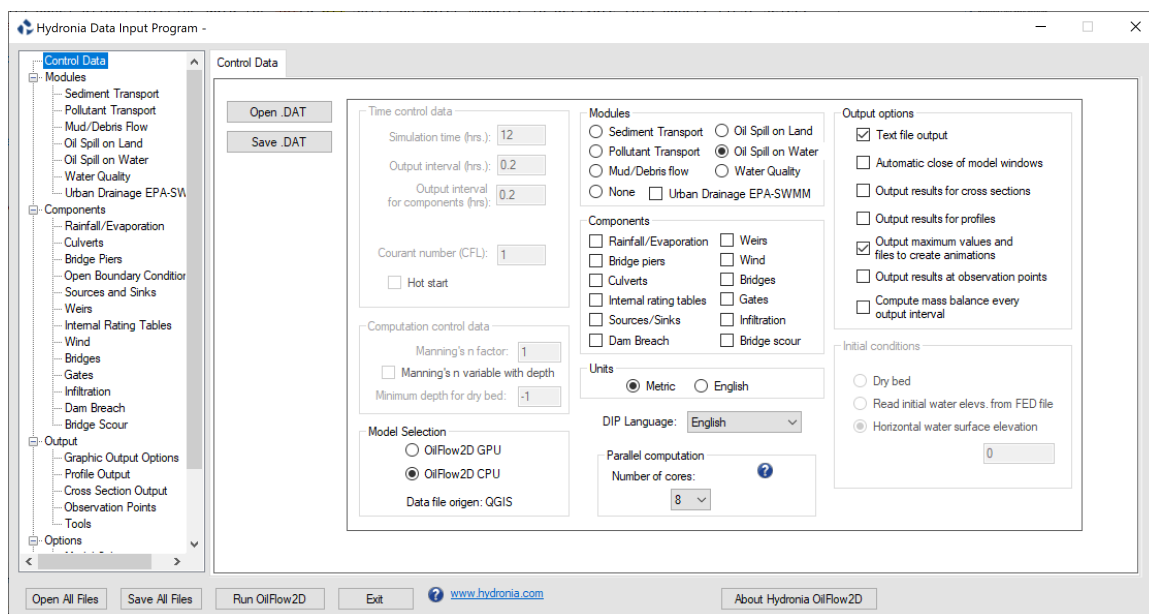


Figura 10.11 – Módulo Oil Spill on Water seleccionado en el panel Control Data (modelo OilFlow2D).

El panel *Oil Spill on Water* incluye pestañas para introducir datos de la trayectoria del petróleo y de procesos de meteorización, como evaporación, emulsificación, interacción con las riberas, dispersión, disolución y sedimentación. Algunos de estos procesos están implementados en la versión actual y otros se incorporarán en versiones futuras.

10.3.1 Pestaña Control Data de Oil Spill on Water

Utilice el panel *Control Data* para introducir los parámetros generales de control de ejecución resumidos en la tabla.

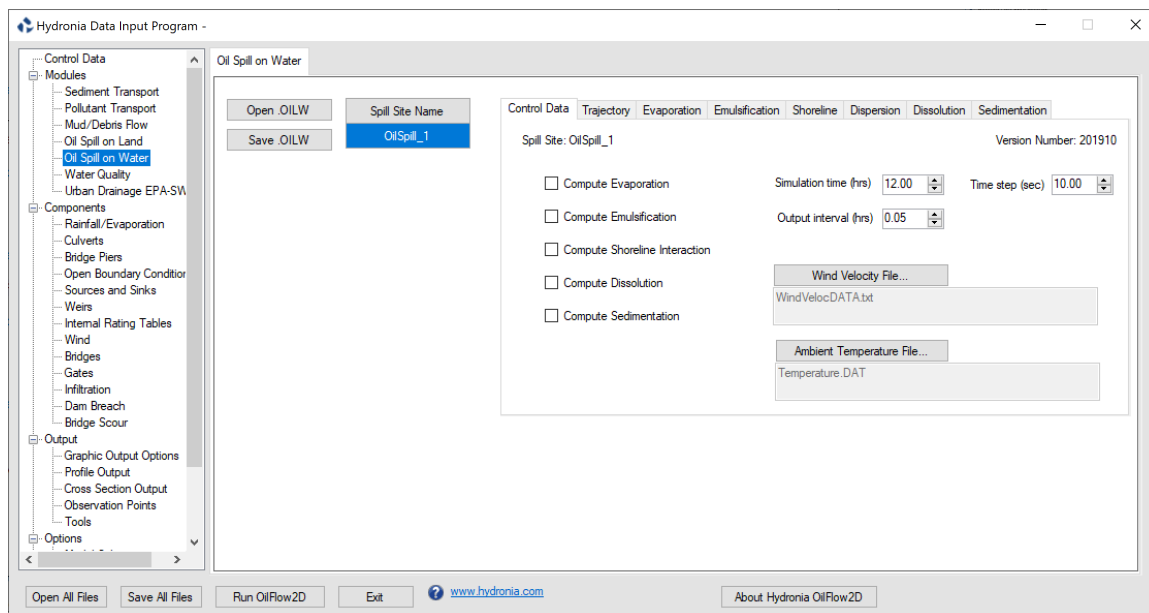


Figura 10.12 – Panel Oil Spill on Water. Pestaña Control Data (modelo OilFlow2D).

- **Process Switches:** Seleccione si desea calcular los procesos de meteorización.

1. Evaporation
2. Emulsification
3. Shoreline Interaction
4. Dissolution
5. Sedimentation

- **Simulation time (h.):** Tiempo total de simulación en horas.
- **Output Interval (h.):** Intervalo de tiempo para informes de salida.
- **Time step (sec.):** Paso de tiempo computacional.
- **Wind Velocity File:** Archivo que contiene la serie temporal de velocidad del viento.
- **Ambient temperature file:** Archivo que contiene la serie temporal de temperatura.

10.3.2 Pestaña Trajectory de Oil Spill on Water

Utilice el panel *Trajectory* para introducir los parámetros asociados al cálculo de la trayectoria del petróleo resumidos en la tabla.

The screenshot shows the 'Hydronia Data Input Program - Oil Spill on Water' window. The 'Trajectory' tab is active, showing the following fields:

- Open .OILW** and **Save .OILW** buttons.
- Spill Site Name:** OilSpill_1
- Initial Spill Location:**
 - X (m): 925167.53
 - Y (m): 1707651.96
 - Z (m): 0.00
- Initial spill time (hrs):** 2.00
- N parcels:** 1000
- Spill Volume File...:** OilSpill_1.txt
- Fluid Properties:**
 - Water density (kg/m3): 1000.00
 - Oil density (API): 40.00
 - Oil viscosity (cP): 15.00
- Dispersion Coefficients:**
 - Longitudinal dispersion coeff. (m2/s): 1.00
 - Transversal dispersion coeff. (m2/s): 1.00
 - Vertical dispersion coeff. (m2/s): 0.00

The bottom of the window features buttons for 'Open All Files', 'Save All Files', 'Run OilFlow2D', 'Exit', and 'About Hydronia OilFlow2D'. The version number '201910' is also visible.

Figura 10.13 – Panel Oil Spill on Water. Pestaña Trajectory (modelo OilFlow2D).

- **X (m), Y (m), Z (m):** Coordenadas de la ubicación del derrame en el tiempo = 0.
- **Initial spill time (hrs.):** Tiempo correspondiente al inicio del derrame con respecto al tiempo de los cálculos del campo de velocidades.
- **N parcels:** Número de parcelas o partículas utilizadas para representar el petróleo en el método de seguimiento de partículas.
- **Spill Volume File:** Archivo que contiene la serie temporal del volumen de petróleo que entra en el agua. Los volúmenes se proporcionan acumulados para cada instante, desde 0 hasta el volumen total derramado.
- **Water density:** Densidad del cuerpo de agua receptor.

- **Oil density:** Densidad del petróleo en unidades API.
- **Oil viscosity:** Viscosidad dinámica del petróleo derramado en el tiempo = 0.
- **Dispersion coefficients:** Coeficientes de dispersión longitudinal, transversal y vertical (m^2/s o ft^2/s).

10.3.3 Pestaña Evaporation de Oil Spill on Water

Utilice el panel *Evaporation* para introducir los parámetros necesarios para calcular la evaporación del petróleo resumidos en la tabla.

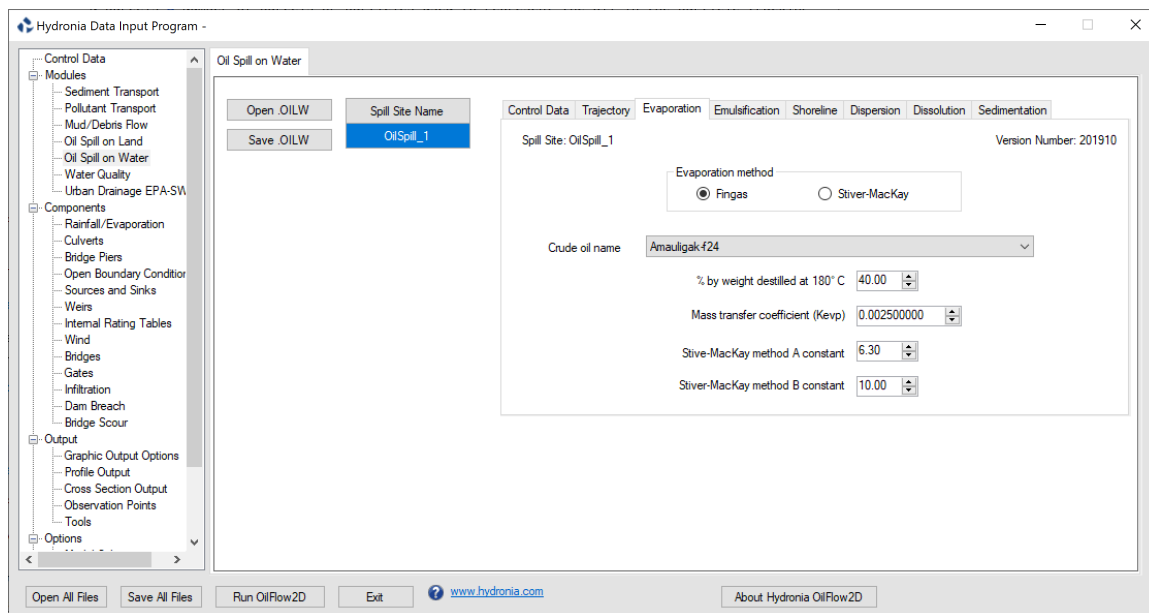


Figura 10.14 – Panel Oil Spill on Water. Pestaña Evaporation (modelo OilFlow2D).

- **Evaporation method:** Permite seleccionar el método Fingas o Stiver-MacKay.
- **Crude oil name:** Lista desplegable para acceder a la base de datos de petróleo del método Fingas.
- **% by weight distilled at 180 °C:** Se utiliza al seleccionar aceites genéricos que siguen una ley de evaporación logarítmica de raíz cuadrada.
- **Mass transfer coefficient:** Requerido por el método Stiver-MackKay.
- **Stiver-MackKay method A constant:** Constante A utilizada en el método de Stiver-MacKay.
- **Stiver-MackKay method B constant:** Constante B utilizada en el método de Stiver-MacKay.

10.4 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.

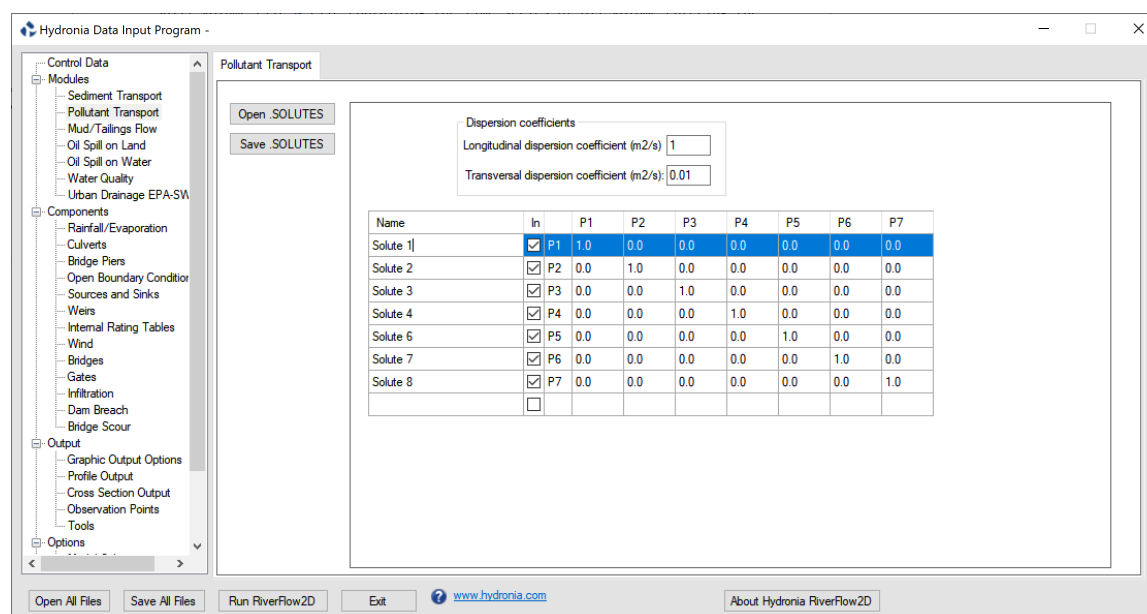


Figura 10.15 – Panel de transporte de contaminantes.

- **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.

10.5 Ficha Graphic Output Options (archivo .PLT)

Este panel permite introducir opciones para controlar la salida de OilFlow2D. Para activar este panel, primero seleccione *Graphic Output Options* del grupo *Output* en el panel izquierdo del DIP.

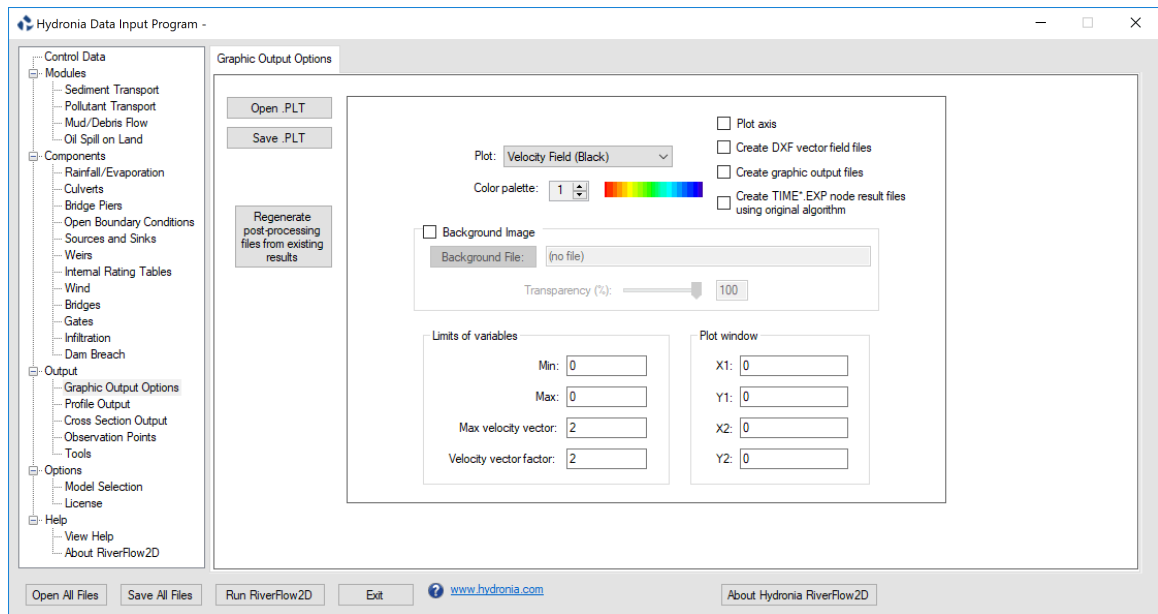


Figura 10.16 – Panel de salida gráfica.

- **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 del flujo.
 - Elevación del lecho.
 - Elevaciones del 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.:** Al utilizar esta opción, OilFlow2D generará durante la ejecución archivos mediante 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.

10.6 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.

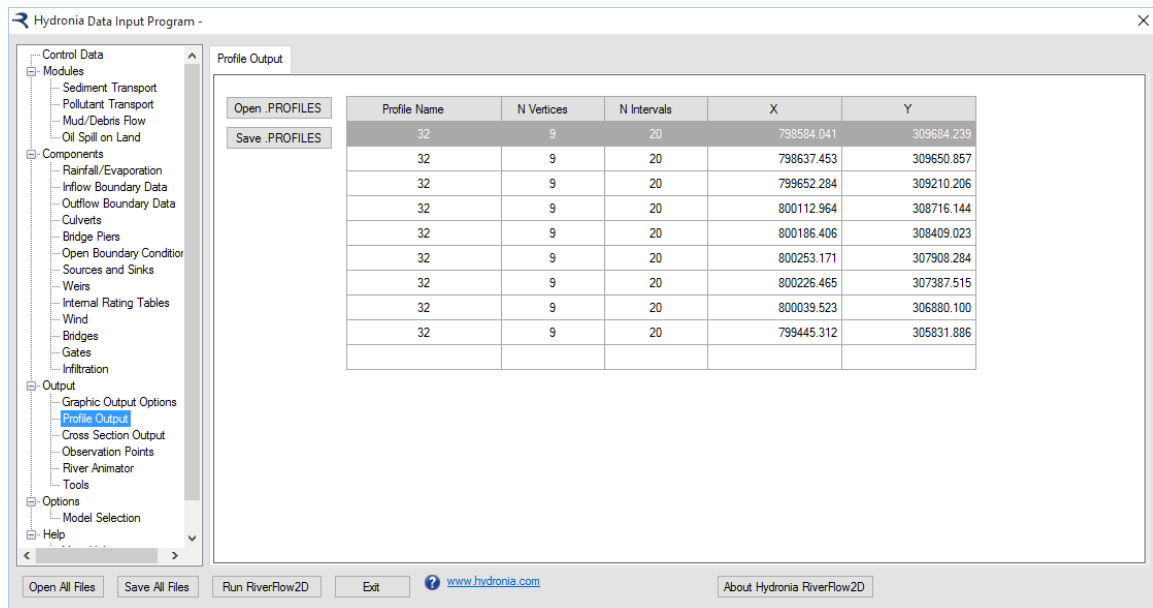


Figura 10.17 – Archivo de salida de perfil.

- **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.

10.7 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. OilFlow2D 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.

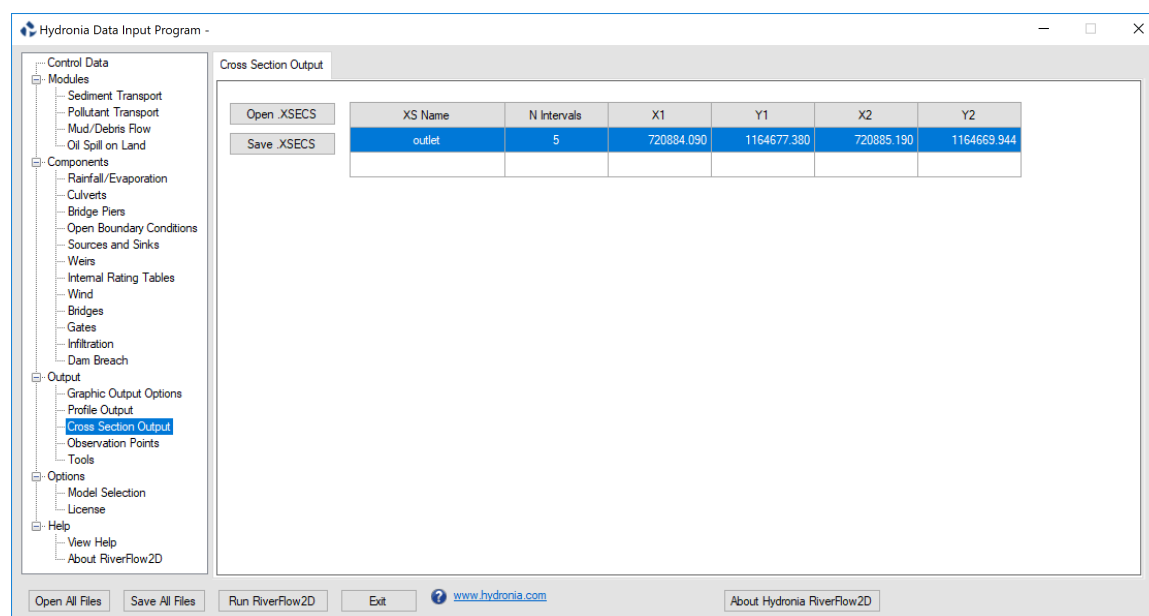


Figura 10.18 – Panel de salida de sección transversal.

- **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.

10.8 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 -

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

Culverts

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

Entrance loss coefficient: user defined

Culvert inlet control formula coefficients: user defined

m: -0.5

Diameter (Dc) (m): 0.10

Number of barrels: 1

Invert elevations

☐ Use element elevations (ft)

Z1: 5 Z2: 1

Kc: 0.5

K' 1 M 1 c' 1.1 Y 0.6

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

Figura 10.19 – 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.

10.9 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.

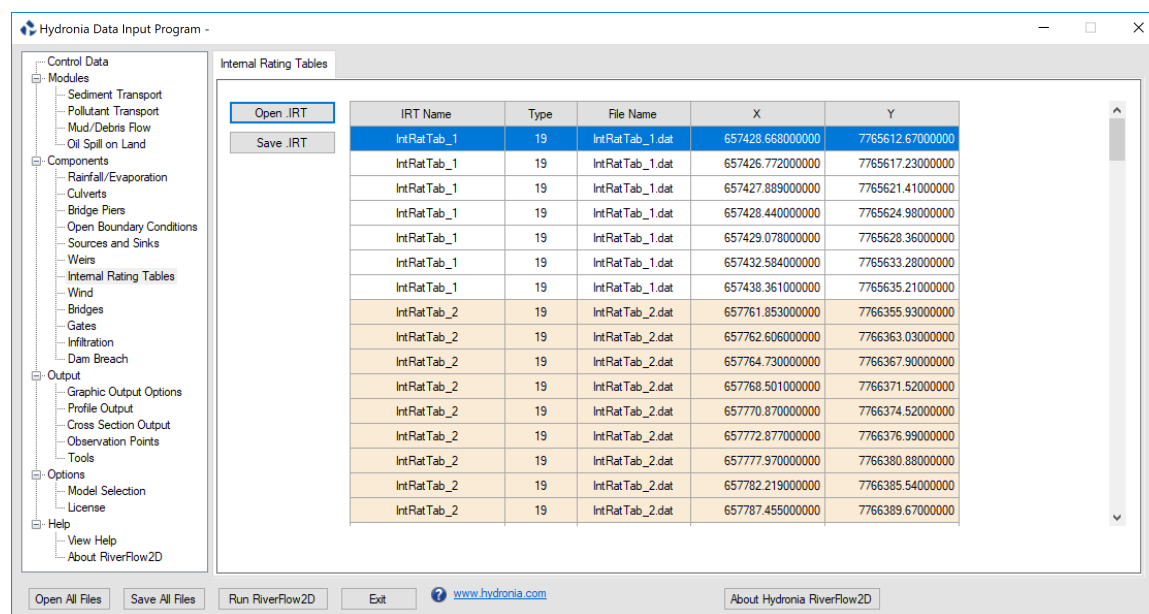


Figura 10.20 – Panel de tablas de aforo internas.

- **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 versus 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.

10.10 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.

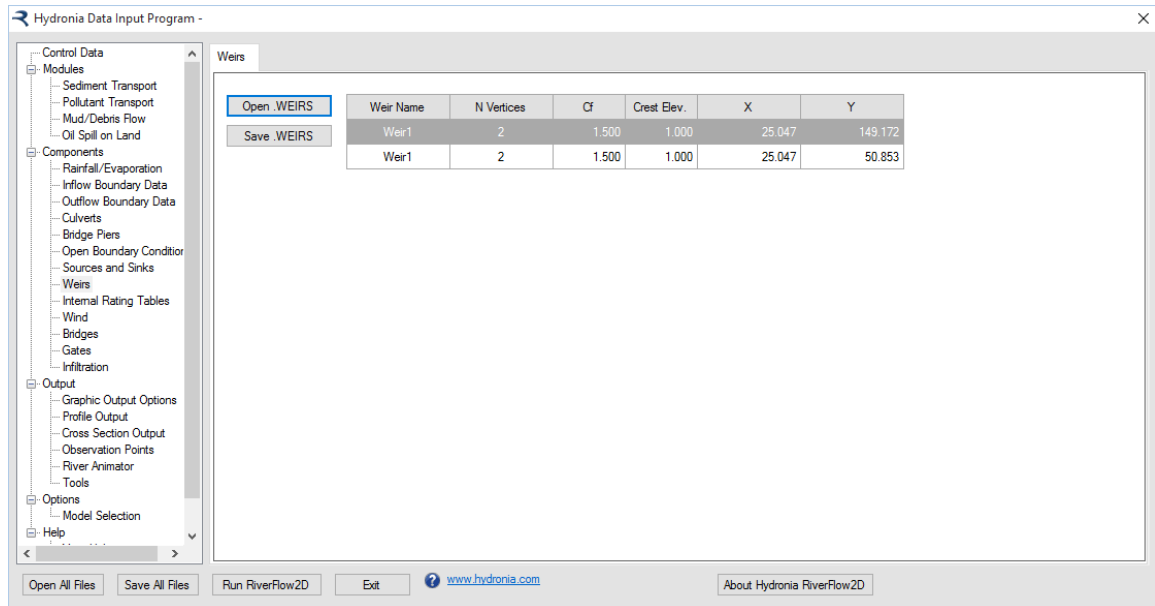


Figura 10.21 – Panel de vertederos.

- **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.

10.11 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.

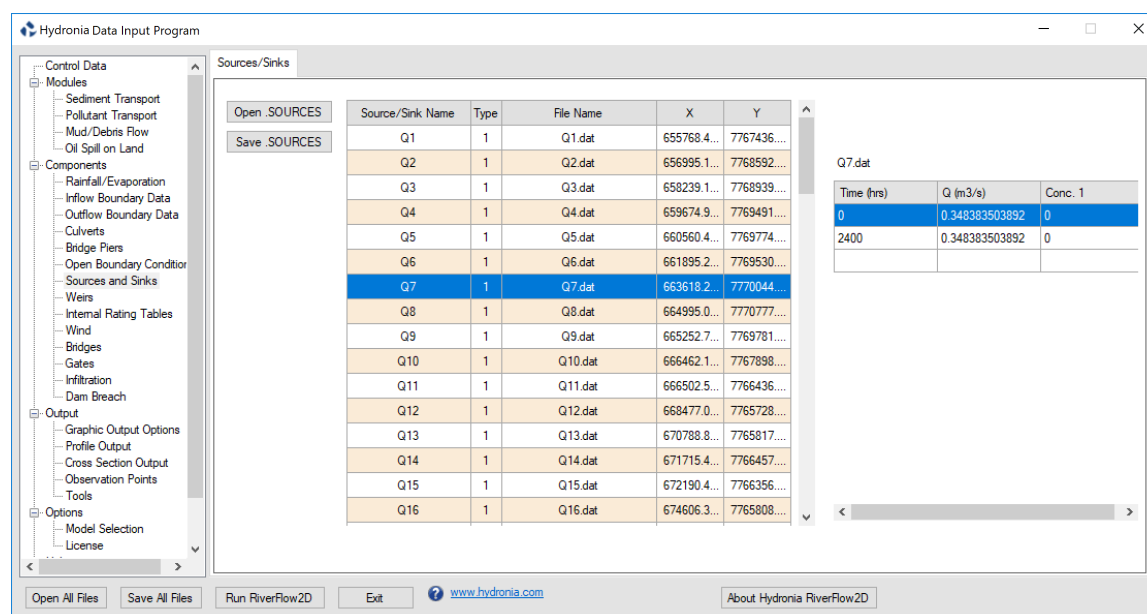


Figura 10.22 – Panel de fuentes y sumideros.

- **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 versus 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.

10.12 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.

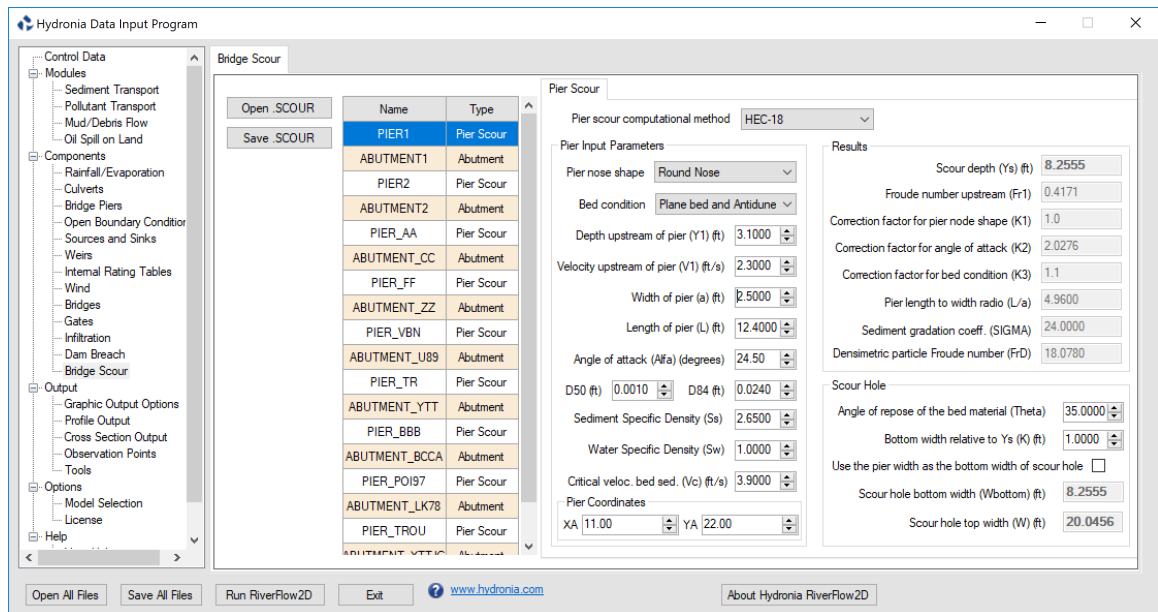


Figura 10.23 – Panel de socavación de puentes.

- **Pier ID:** Nombre del muelle
- **Icomp::** Método computacional
- **XA, YA:** Coordenadas del muelle
- **Y1:** Profundidad de flujo directamente aguas arriba del muelle
- **V1:** Velocidad aguas arriba del muelle
- **Alfa:** Ángulo de ataque
- **alfaRAD:** Ángulo de ataque
- **ishape:** Forma del muelle
- **L:** Longitud del pilar
- **a:** Ancho del pilar
- **iBedCondition:** Condición de la cama
- **D50:** D50
- **D84:** D84
- **Sediment Specific Density:** Ss
- **Water Specific Density:** SW
- **K1:** Factor de corrección para la forma de la punta del muelle.
- **K2:** Factor de corrección para el ángulo de ataque del flujo
- **K3:** Factor de corrección para la condición de la cama
- **K:** ancho inferior relativo a Ys.
- **theta:** ángulo de reposo del material de la cama
- **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 muelle
- **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:** n de Manning
- **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.

10.13 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.

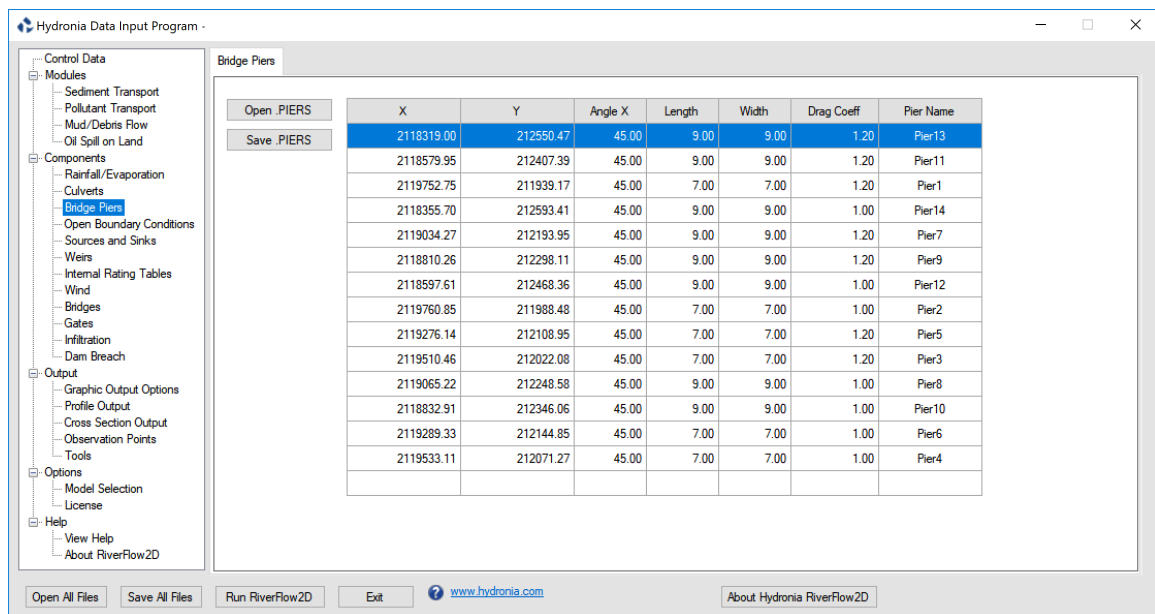


Figura 10.24 – Panel de pilas de puentes.

- **X,Y:** Coordenadas del centroide del muelle.
- **Angle X:** Ángulo del pilar respecto al eje X.
- **Length:** Longitud del muelle (m o pies).
- **Width:** Ancho del muelle (m o pies).
- **Drag Coeff.:** Coeficiente de arrastre del muelle.
- **Pier Name:** Nombre del muelle. 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.

10.14 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.

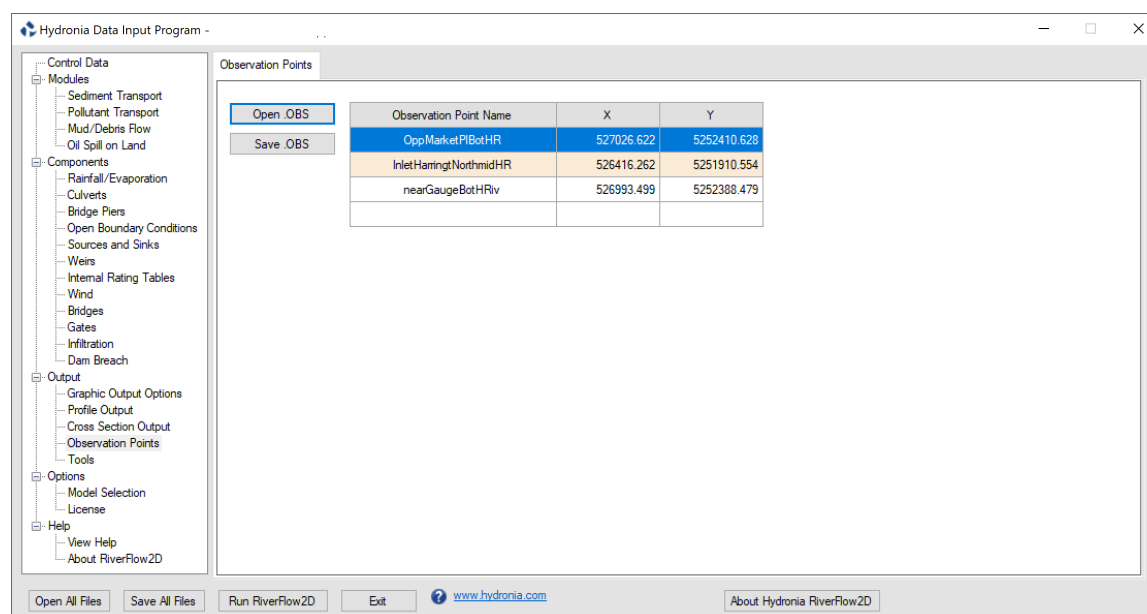


Figura 10.25 – Panel de puntos de observación.

- **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.

10.15 Panel Tools

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.

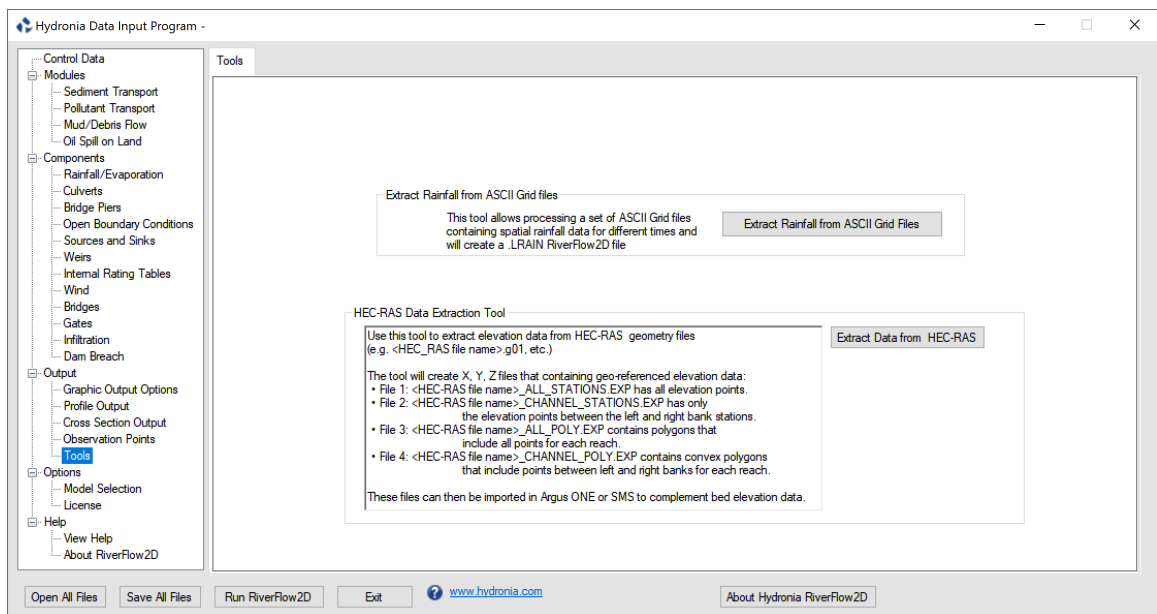


Figura 10.26 – Panel de herramientas.

10.15.1 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 y preparar archivos de datos de OilFlow2D para simulaciones hidrológicas. El programa permite extraer datos de un conjunto de archivos de cuadrícula ASCII de lluvia y evaporación puntuales y crear un archivo en el formato legible por OilFlow2D.

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 OilFlow2D 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, use 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.

10.15.1.1 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
```

10.15.1.2 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
```

10.15.2 Herramienta de extracción de datos HEC-RAS

El propósito de esta herramienta es facilitar la migración de proyectos HEC-RAS existentes a Oil-Flow2D. 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.

11

Referencia de archivos de datos de entrada

Los archivos de datos con información no espacial necesarios para ejecutar OilFlow2D están en formato ASCII libre, que puede abrirse con cualquier editor de texto o programa de hojas de cálculo. En algunos casos puede ser conveniente editar directamente los datos. Sin embargo, se recomienda editar los archivos con extrema precaución y solo después de comprender a fondo los formatos de archivo de OilFlow2D. Esta sección explica los archivos de datos de entrada y los parámetros incluidos en cada archivo.

El programa de instalación de OilFlow2D crea una carpeta con varios proyectos de ejemplo que pueden consultarse para revisar los archivos de datos del modelo. Según el sistema operativo y la configuración, esta carpeta puede encontrarse en ...\\ Documents\\OilFlow2D_QGIS\\ExampleProjects.

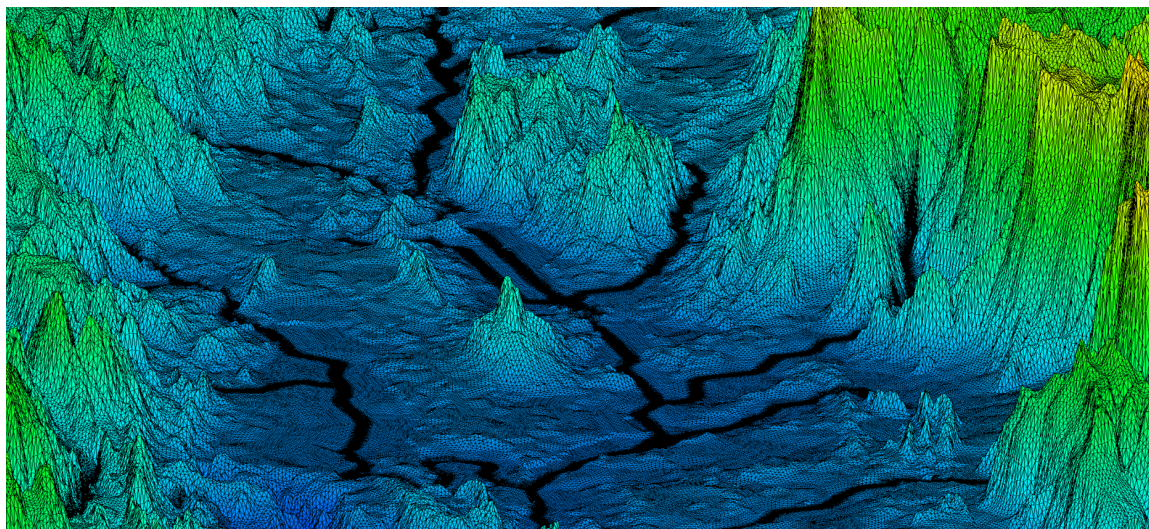


Figura 11.1 – Ejemplo de una malla de OilFlow2D.

Los archivos de datos de OilFlow2D compartirán el mismo nombre y utilizarán las extensiones

indicadas en la tabla siguiente. Por ejemplo, una ejecución llamada Run1 tendrá archivos como los siguientes: , , etc. La tabla siguiente resume los archivos de datos utilizados por el modelo OilFlow2D.

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 al utilizar OilFlow2D; este es el archivo de 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:** y archivo interno; Lista de nodos de límites externos y de islas. Este archivo es generado internamente por OilFlow2D.
- **I/O boundary conditions:** y archivo interno; Lista de nodos de límites externos, condiciones de entrada y salida. Este archivo es generado internamente por OilFlow2D.
- **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 OilFlow2D, según la información del archivo.
- **Run control data:** Requerido; Opciones generales de control de ejecución, incluido el paso de tiempo, el tiempo de simulación, unidades métricas o inglesas, opciones de salida gráfica, condiciones iniciales, 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 versus 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 Muelles; 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.
- **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. ## Datos de control de ejecución

11.0.1 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: Interruptor del modelo de transporte de contaminantes.

IPOLLUTANT

Línea 15: Cambio de estrés por viento.

IWIND

Línea 16: Interruptor del modelo de 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

11.0.1.1 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 OilFlow2D y OilFlow2D GPU. Número de Courant. El valor predeterminado es 1.0. Es posible que CFL deba establecerse en valores inferiores si los resultados muestran signos de oscilaciones inesperadas.
- **DUMMY:** R; -; -; Parámetro ficticio para uso futuro. Ignorado en OilFlow2D.
- **HMIN:** R; -1 or > 0; m/ft; En OilFlow2D 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. Utilizar 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 ; -; OilFlow2D: este parámetro indica cuántos procesadores o núcleos se utilizarán en el cálculo paralelo. El número máximo depende de las capacidades del procesador. OilFlow2D GPU: si el equipo tiene varias tarjetas GPU, este parámetro permite seleccionar la tarjeta que se utilizará en la ejecución. Como el modelo solo permite una ejecución simultánea por tarjeta, esta opción permite ejecutar simulaciones simultáneas en tarjetas diferentes. - **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 OilFlow2D.

1. Aquaveo SMS
2. QGIS

• **HAZARD**: 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 -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 en cada paso de tiempo y se crea

. See comment 9.

- **IMDOIL**: I; 0,3; -; Interruptor para seleccionar el modelo de petróleo.

1. No ejecutar el modelo de petróleo.
2. Ejecutar el modelo de flujo de derrames de petróleo en tierra. Requiere un archivo. Consulte los detalles en la sección *Oil Spills on Land* de este manual.
3. Ejecutar el modelo de derrames de petróleo sobre agua. Requiere un archivo. Consulte los detalles en la sección *Oil Spills on Water* de este manual.

- **IMS**: I; 1,2; -; Interruptor de modelo utilizado para seleccionar el modelo de motor hidrodinámico.

1. OilFlow2D.
2. OilFlow2D GPU.

- **IMULTSOURCES**: I; 0,1; -; Conmutador utilizado para seleccionar el procesamiento por lotes de múltiples fuentes. Cuando se establece en 1, el modelo creará un subdirectorio (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 muelle.

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

Requiere archivo. Esta opción se puede utilizar si la malla no tiene en cuenta la geometría del pilar. Ver detalles en *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. Consulte los detalles en la sección *Pollutant Transport* 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.

- **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.
- **TLIMIT:** R; > 0; h.; Tiempo total de simulación.
- **TOUT:** R; $\leq TLIMIT$; h.; Intervalo de tiempo de salida para informar resultados.
- **XNMAN:** R; [0.1-2]; -; Coeficiente multiplicador n de Manning. Ver comentario 6.

11.0.1.2 Comentarios para el archivo .DAT

1. Establecer el CFL (Courant Friederich-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 OilFlow2D 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, OilFlow2D 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 OilFlow2D 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 OilFlow2D 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 el balance de masas o no. Esto tiene implicaciones particularmente en el modelo de GPU, ya que los cálculos del equilibrio de masa se realizan en la CPU, con la consiguiente sobrecarga de rendimiento y aumento del tiempo de ejecución. Es posible que Yu desee activarlo para revisar cómo el modelo conserva volumen o masa. Una vez comprobado esto, se recomienda apagarlo para obtener el máximo rendimiento.

11.1 Datos de malla

11.1.1 Archivo de datos de malla: .FED

Este archivo contiene los datos que definen la malla de celdas triangulares e incluye las coordenadas de los nodos, la conectividad de cada celda triangular, las elevaciones de los nodos, los coeficientes n de Manning y otros parámetros. OilFlow2D crea este archivo y garantiza que se genere sin errores y sea coherente con las condiciones de contorno y los demás parámetros de la malla. Editar este archivo fuera de OilFlow2D puede introducir 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)

11.1.1.1 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 or ft; Elevación inicial de la superficie del agua para la celda EL. Se utiliza en OilFlow2D y OilFlow2D GPU.
- **ELMINERODELEV (IE):** R; ≥ 0 ; -; Elevación mínima de erosión permitida en cada celda. Se utiliza en OilFlow2D y OilFlow2D GPU.
- **ELZB (IE):** R; -; m or ft; Elevación inicial del lecho para la celda EL. Se utiliza en OilFlow2D y OilFlow2D GPU.
- **INITWSE(IN):** R; -; m or ft; Elevación inicial de la superficie del agua para el nodo IN.
- **IE:** I; > 0; -; Índice de celda. Consecutivo de 1 a NELEM.
- **IN:** I; > 0; -; Número de nodo. Consecutivo de 1 a NNODES.
- **MANNINGN(IE):** R; > 0; -; Valor n de Manning para la celda IE.
- **MINERODELEV (IN):** R; ≥ 0 ; m or ft; Elevación mínima de erosión permitida en cada nodo.
- **NELEM:** I; 1-5; -; Número de celdas triangulares.
- **NNODES:** I; > 0; -; Número de nodos.
- **NODE(IE,1), NODE(IE,2), NODE(IE,3):** I; > 0; -; Números de nodo para la celda IE dados en sentido antihorario.
- **X(IN):** R; -; m or ft; Coordenada X para el nodo IN.
- **Y(IN):** R; -; m or ft; Coordenada Y para el nodo IN.
- **ZB (IN):** R; -; m or ft; Elevación inicial del lecho para el nodo IN.

11.1.2 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 OilFlow2D. 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

11.1.2.1 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)

11.1.2.2 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 vs 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 donde la tabla de descarga versus 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.

11.1.2.3 Comentarios para los archivos .IFL y .OBCE

1. OilFlow2D 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 OilFlow2D. 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 OilFlow2D 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, ISLIPBC = 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 (ver 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 rescisión 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 OilFlow2D.

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. 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.
10. 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.

11.1.3 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 OilFlow2D.**

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)

11.1.3.1 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.

11.1.3.2 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, muelles, etc. deben seguir el polígono de dominio externo.

11.2 Bridges

OilFlow2D 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 muelle y tendrá en cuenta la resistencia del muelle. 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 muelle 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.

11.2.1 Archivo de datos de puentes: .BRIDGES

Este componente requiere el archivo de datos que el modelo genera internamente a partir de la representación geométrica introducida en OilFlow2D. El archivo tiene el formato siguiente:

Línea 1: Número de puentes.

NUMBEROFBRIDGES

NUMBEROFBRIDGES líneas que contienen los datos de cada puente.

Bridge Id.

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)

11.2.1.1 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.

11.2.2 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, $ESTACIÓN(I) \leq ESTACIÓN(I+1)$.
- $BEDELEV \leq ZLOWER \leq LOWCHORD \leq DECKELEV$.
- 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.

11.2.2.1 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 →	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

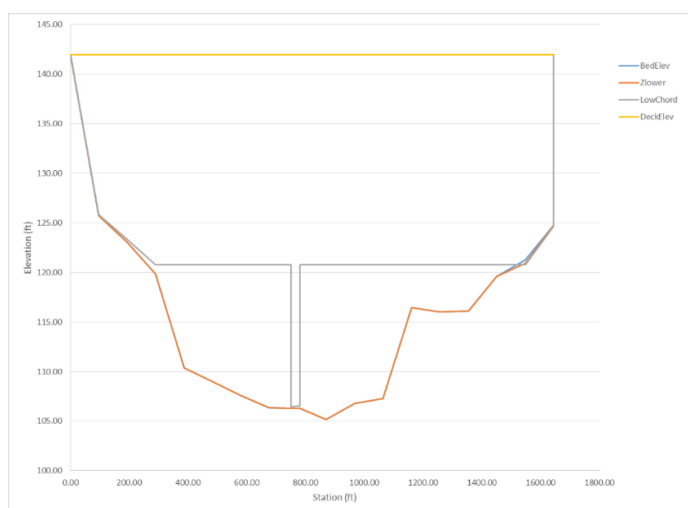


Figura 11.2 – Vista frontal de una sección transversal de puente.

- **BEDELEV:** R; -; m or ft; Elevación de la cama. Debe ser la elevación más baja para todas las polilíneas en un punto determinado.
- **DECKELEV:** R; -; m or 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 or ft; 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; -; m or ft; 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 BE-DELEV y ZLOWER es una zona bloqueada para el flujo. El espacio entre ZLOWER y LOW-CHORD es un espacio abierto. Si el puente no tiene agujeros, ZLOWER debe ser idéntico a BEDELEV.
- **LOWCHORD:** R; -; m or ft; Alzado 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 DECELEV es un área bloqueada para el flujo.

11.3 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 (CulvertType)

ELSE

CulvertID

CulvertType

CulvertFile

X1 Y1 X2 Y2

ENDIF (CULFILEVER)

END (NCULVERTS)

11.3.1 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 or ft; Coordenadas de vértice que definen cada línea de alcantarilla.

11.3.2 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 versus 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.

11.3.2.1 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 or ft; Elevación invertida de entrada. Si INVERT_Z1 = -9999, el modelo hace que INVERT_Z1 sea igual a la elevación promedio del lecho del cekk de entrada.
- **INVERT_Z2:** R; > 0; m or 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 entrada.
- **DEPTH:** R; > 0; m or ft; Profundidad del agua.
- **Q:** R; > 0; m³/s or ft³/s; Descarga de agua.

11.3.3 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 CulvertType=1
Hb
Base
 De lo contrario, si CulvertType=2
Dc
INVERT_Z1
INVERT_Z2

11.3.4 Ejemplo del archivo de datos de características de alcantarilla

202208

1
 0.5
 0.012
 1
 1
 1.1
 0.6
 -0.5
 0.10
 5.0
 1.0

Este archivo de datos de características de 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.

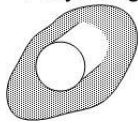
- **Y:** R; 0.5-1.0; -; Coeficiente de control de entrada indicado en la tabla.
- **m:** R; 0.7,-0.5; -; Coeficiente de forma de entrada. $m=0,7$ para entradas en inglete, $m=-0,5$ para todas las demás entradas.
- **Hb:** R; > 0 ; m or ft; Altura del barril para alcantarillas tipo cajón. Sólo para CulvertType = 1.
- **Base:** R; > 0 ; m or ft; Ancho del cañón para alcantarillas tipo cajón. Sólo para CulvertType = 1.
- **Dc:** R; > 0 ; m or ft; Diámetro para alcantarillas circulares. Sólo para CulvertType = 2.
- **INVERT_Z1:** R; > 0 ; m or 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 or ft; Elevación invertida de salida. Si INVERT_Z2 = -9999, el modelo hace que INVERT_Z1 sea igual a la elevación promedio del lecho de la celda de entrada.
- **Juntas buenas, paredes lisas:** 0.012
- **Sobresaliente del relleno, extremo cortado a escuadra:** 0.015
- **Juntas deficientes, paredes rugosas:** 0.017
- **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
- **Sobresaliente del relleno, extremo ranurado:** 0.2
- **Sobresaliente del relleno, extremo cortado a escuadra:** 0.5
- Cabecero o testero con ala (sacos de arena de hormigón o cemento)
- **Extremo de tubería ranurado:** 0.2
- **Extremo de tubería cortado a escuadra:** 0.1
- **Extremo de tubería redondeado:** 0.7
- **Sin rejilla:** 0.5
- **Con rejilla:** 0.7
- **Tubería metálica corrugada:** Proyectando desde el terraplén (sin cabecera); 0,9
- **Cabecera con o sin muros laterales (sacos de arena de hormigón o cemento):** 0.5
- **Extremo en inglete que se adapta 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)
- **Con borde cuadrado en tres lados:** 0.5
- **Redondeado en tres lados con un radio de 1/12 de la dimensión del conducto:** 0.2
- Wingwalls en 30° a 75° al cañón
- **Con borde cuadrado en la corona:** 0.4
- **Borde de corona redondeado con un radio de 1/12 de la dimensión del conducto:** 0.2
- Wingwalls en 10° a 30° al cañón
- **Con borde cuadrado en la corona:** 0.5
- Wingwalls paralelos al terraplén
- **Con borde cuadrado en la corona:** 0.7
- Circular **Concrete:**; Cabecera; borde cuadrado; 0,3153; 2,0000; 1,2804; 0.6700
- Circular **Concrete:**; Cabecera; borde ranurado; 0,2509; 2,0000; 0,9394; 0,7400
- Circular **Concrete:**; Saliente; borde ranurado; 0,1448; 2,0000; 1,0198; 0.6900
- Circular **Cor. metal:**; Cabecera; 0,2509; 2,0000; 1,2192; 0.6900
- Circular **Cor. metal:**; Inglete a pendiente; 0,2112; 1,3300; 1,4895; 0.7500
- Circular **Cor. metal:**; Saliente; 0,4593; 1,5000; 1,7790; 0.5400
- Circular **Concrete:**; Anillo biselado; 45 biseles °; 0,1379; 2,5000; 0,9651; 0,7400
- Circular **Concrete:**; Anillo biselado; 33,7 biseles °; 0,1379; 2,5000; 0,7817; 0.8300
- **Concrete:** Rectangular; Wingwalls; 30° to 75° flares; borde cuadrado; 0,1475; 1,0000; 1,2385; 0.8100
- **Concrete:** Rectangular; Wingwalls; 90° and 15° flares; borde cuadrado; 0,2242; 0,7500; 1,2868; 0.8000
- **Concrete:** Rectangular; Wingwalls; 0° flares ; borde cuadrado; 0,2242; 0,7500; 1,3608; 0.8200
- **Concrete:** Rectangular; Wingwalls; 45° flare; borde biselado; 1,6230; 0,6670; 0,9941; 0.8000
- **Concrete:** Rectangular; Wingwalls; 18° to 33.7° flare; borde biselado; 1,5466; 0,6670; 0,8010; 0.8300
- **Concrete:** Rectangular; Headwall; 3/4 inch chamfers; 1,6389; 0,6670; 1,2064; 0.7900

- **Concrete:** Rectangular; Headwall; 45° bevels; 1,5752; 0,6670; 1,0101; 0.8200
- **Concrete:** Rectangular; Headwall; 33.7° bevels; 1,5466; 0,6670; 0,8107; 0,8650
- **Concrete:** Rectangular; Headwall; 45° skew; 3/4 en chaflanes; 1,6611; 0,6670; 1,2932; 0.7300
- **Concrete:** Rectangular; Headwall; 30° skew; 3/4 en chaflanes; 1,6961; 0,6670; 1,3672; 0.7050
- **Concrete:** Rectangular; Headwall; 15° skew; 3/4 en chaflanes; 1,7343; 0,6670; 1,4493; 0.6800
- **Concrete:** Rectangular; Headwall; 10-45° skew; 45 biselados; 1,5848; 0,6670; 1,0520; 0.7500
- **Concrete:** Rectangular; Wingwalls; non-offset 45°/flares; 1,5816; 0,6670; 1,0906; 0.8030
- **Concrete:** Rectangular; Wingwalls; non-offset 18.4°/flares; 3/4 en chaflanes; 1,5689; 0,6670; 1,1613; 0.8060
- **Concrete:** Rectangular; Wingwalls; non-offset 18.4°/flares; 30° /barril torcido; 1,5752 0,6670; 1,2418; 0.7100
- **Concrete:** Rectangular; Wingwalls; offset 45°/flares; borde superior biselado; 1,5816; 0,6670; 0,9715; 0,8350
- **Concrete:** Rectangular; Wingwalls; offset 33.7°/flares; borde superior biselado; 1,5752; 0,6670; 0,8107; 0.8810
- **Concrete:** Rectangular; Wingwalls; offset 18.4°/flares; bisel del borde superior; 1,5689; 0,6670; 0,7303; 0.8870
- **Cor. metal:** Rectangular; Headwall; 0.2670; 2,0000; 1,2192; 0.6900
- **Cor. metal:** Rectangular; Projecting; thick wall; 0,3023; 1,7500; 1,3479; 0.6400
- **Cor. metal:** Rectangular; Projecting; thin wall; 0,4593; 1,5000; 1,5956; 0.5700
- Circular **Concrete:**; Garganta cónica; 1,3991; 0,5550; 0,6305; 0.8900
- Circular **Cor. metal:**; Garganta cónica; 1,5760; 0,6400; 0,9297; 0.9000
- **Concrete:** Rectangular; Tapered throat; 1.5116; 0,6670; 0,5758; 0.9700
- Circular **Concrete:**; Cabecera; borde cuadrado; 0,3153; 2,0000; 1,2804; 0.6700
- Circular **Concrete:**; Cabecera; borde ranurado; 0,2509; 2,0000; 0,9394; 0,7400
- Circular **Concrete:**; Saliente; borde ranurado; 0,1448; 2,0000; 1,0198; 0.6900
- Circular **Cor. metal:**; Cabecera; 0,2509; 2,0000; 1,2192; 0.6900
- Circular **Cor. metal:**; Inglete a pendiente; 0,2112; 1,3300; 1,4895; 0.7500
- Circular **Cor. metal:**; Saliente; 0,4593; 1,5000; 1,7790; 0.5400

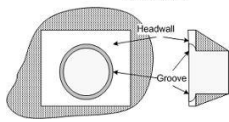
- Circular **Concrete**; Anillo biselado; 45 biseles °; 0,1379; 2,5000; 0,9651; 0,7400
- Circular **Concrete**; Anillo biselado; 33,7 biseles °; 0,1379; 2,5000; 0,7817; 0.8300
- **Concrete**; Rectangular; Wingwalls; 30° to 75° flares; borde cuadrado; 0,1475; 1,0000; 1,2385; 0.8100
- **Concrete**; Rectangular; Wingwalls; 90° and 15° flares; borde cuadrado; 0,2242; 0,7500; 1,2868; 0.8000
- **Concrete**; Rectangular; Wingwalls; 0° flares; borde cuadrado; 0,2242; 0,7500; 1,3608; 0.8200
- **Concrete**; Rectangular; Wingwalls; 45° flare; borde biselado; 1,6230; 0,6670; 0,9941; 0.8000
- **Concrete**; Rectangular; Wingwalls; 18° to 33.7° flare; borde biselado; 1,5466; 0,6670; 0,8010; 0.8300
- **Concrete**; Rectangular; Headwall; 3/4 inch chamfers; 1,6389; 0,6670; 1,2064; 0.7900
- **Concrete**; Rectangular; Headwall; 45° bevels; 1,5752; 0,6670; 1,0101; 0.8200

Projecting



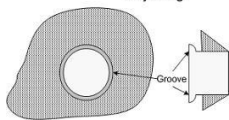
- : El extremo del cañón de la alcantarilla sobresale del terraplén.

Grooved Pipe with Headwalls



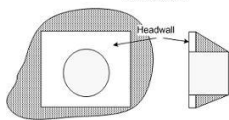
- : Tubería ranurada para alcantarillas de hormigón disminuye las pérdidas de energía por la entrada de la alcantarilla.

Grooved Pipe Projecting



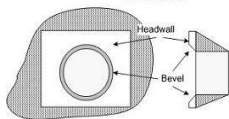
- : Esta opción es para alcantarillas de tubería de concreto.

Square Edge with Headwalls



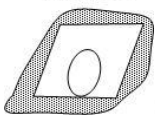
- : El borde cuadrado con el muro cabecera es una condición de entrada donde la entrada de la alcantarilla está al ras con el muro cabecera.

Beveled Edge with Headwalls



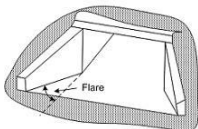
- : 'Bordes biselados' es un borde de entrada cónico que disminuye la pérdida de carga cuando el flujo ingresa al barril de la alcantarilla.

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.

11.3.5 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.

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 del puente.
- **DAM_FAILMODE:** I; –; 1, 2, 3; Modo de falla:
 - Fallo prescrito.
 - Desbordamiento de la erosión.
 - Erosión por tubificación.
- **X0, Y0:** R; –; [m or 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 or ft]; Elevación inicial de la cresta de la presa.
- **Angle:** R; [5, 90]; –; Incumplir el 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 infracción
- **Zb0:** R; –; [m or ft]; Elevación inicial del fondo de la brecha
- **D50:** R; –; [m or ft]; Diámetro medio del material de presa.
- **Tau_c:** R; –; [Pa or lb/in²]; Esfuerzo cortante crítico.
- **K_sm:** R; –; –; Corrección de inmersión por efectos de aguas residuales.
- **Kd:** R; –; [m³/(N s) or 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 or lb/in²]; Cohesión del material de la presa.
- **DamCrestWidth:** R; –; [m or 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 negros. Ver detalles en secciones y .
- **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.

11.4.2 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)

11.4.2.1 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
```

11.4.3 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.
- **Erosión por tubificación:** 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.

11.5 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 OilFlow2D 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)

11.5.1 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 muelle. 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.

11.5.2 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)

11.5.3 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 or ft; Apertura de puerta para el tiempo correspondiente.

11.6 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 ingresaría polilíneas coincidentes con nodos de malla y asignaría una tabla de clasificación de descarga versus elevación de la superficie del agua a la polilínea. 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 pueden ser 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)

11.6.1 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 versus descarga. Las versiones futuras incluirán más opciones.
- **X_IRT Y_IRT:** R; -; m or 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.

11.6.2 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.

11.7 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))

11.7.0.1 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**: $S; \leq 26; -$; Intensidad de las precipitaciones. Ver comentario 1.
- **X(i) Y(i)**: $R; > 0; m \text{ or } ft$; Coordenadas de vértice del polígono i.

11.7.1 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.

11.7.1.1 Archivo de datos de hietograma y evaporación.

Línea 1: Número de puntos en series temporales de lluvia y evaporación.

NPRE

Líneas NPRES que contienen:

Hora Intensidad de lluvia, Intensidad de evaporación.

TIME RAININT EVAPINT

11.7.2 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**: $R; \geq 0; mm/h \text{ or } in/h$; Intensidad de la evaporación. Ver comentario 1.
- **NPRES**: $I; -; -$; Número de veces en las series temporales de lluvia y evaporación.
- **RAININT**: $R; \geq 0; mm/h \text{ or } in/h$; Intensidad de las precipitaciones. Ver comentario 1.
- **TIME**: $R; > 0; hours$; Intervalo de tiempo

11.7.3 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.

11.8 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))

11.8.1 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 *inf1.inf* y el polígono está definido por cuatro vértices.

- **&:** 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 or ft; Coordenadas del vértice del polígono que define la Zona i.

11.8.2 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.

11.8.2.1 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**

11.8.3 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 usando las Ecs. y. Consulte los posibles valores de AMC en la Tabla.
- **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 or ft/s; Tasa de infiltración final. Predeterminado = $2E-5$.

- f_0 : R; [0,5E-4]; m/s or 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 or ft/s; Conductividad hidráulica utilizada en el método Green y 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 or in; Mojando el cabezal de succión de suelo frontal. 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

11.9 Variable n de Manning con datos de profundidad

Archivo: .MANNN

Este archivo es creado por el complemento OilFlow2D 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 **MANNNFILE**

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))

11.9.0.1 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**: $S; \leq 26; -$; Archivo n de Manning. Ver comentario 1.
- **X(i) Y(i)**: $R; > 0; m \text{ or } ft$; Coordenadas del vértice del polígono que define la Zona i.

11.9.1 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.

11.9.1.1 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)

11.9.2 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 or 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.

11.9.3 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.

11.9.3.1 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 lines: DEPTH(i) MANNINGS_N(i)

11.9.4 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 OilFlow2D QGIS. El archivo de datos tiene el siguiente formato:

Línea 1: Número de muelles.

NUMBEROFPIERS

NUMBEROFPIERS líneas que contienen los datos de cada muelle.

X Y ANGLEX LENGTH WIDTH CD PIERID

11.9.4.1 Ejemplo de un archivo .PIERS

124

2042658.82 14214769.48 47.33 19.00 4.00 0.64 P1

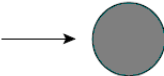
2042690.52 14214739.87 46.66 19.00 4.00 0.64 P2

...

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 muelle con respecto al eje X. Ver comentario 1.
- C_D : R; 0.5 – 2.5; -; Coeficiente de resistencia adimensional del muelle. Ver comentario 2.
- **LENGTH:** R; -; m or ft; Longitud del muelle.
- **PIERID:** S; < 26; -; Nombre del muelle. No debe contener espacios y debe tener menos de 26 caracteres.
- **WIDTH:** R; -; m or ft; Ancho del muelle.
- **X:** R; -; m or ft; Coordenada X del centroide del pilar.
- **Y:** R; -; m or ft; Coordenada Y del centroide del muelle.

• **Cilindro redondo:** 

• **Cilindro cuadrado:** 

• **Cilindro cuadrado:** 

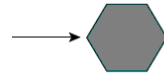
• **Cilindro cuadrado:** R/B; C_D

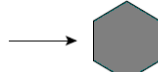
• **con:** 0; 2.2

• **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

11.9.4.2 Comentarios para el archivo .PIERS

1. Ángulo ANGLEX se aplica únicamente a pilares de planta rectangular. Por ejemplo ANGLEX = 90 corresponde a un muelle 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 muelle, ρ es la densidad del agua, U es la velocidad del agua y A_P es el área mojada del muelle proyectada normal a la dirección del flujo.

Para tener en cuenta la fuerza de arrastre que el muelle ejerce sobre el flujo, OilFlow2D la convierte en esfuerzo cortante distribuido en la celda donde se encuentra la coordenada centroide del muelle. 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.

11.10 Archivo de datos de muelle 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
lcomp
XA, YA
Y1
V1
Fr1
alfa
ishape
L
a
iBedCondition
D50
D84
Vcritical
SedimentSpecificDensity
WaterSpecificDensity
FrD
K1
K2
K3
K
theta
ys
W
Wbottom
iAbutmentType
AlfaA
AlfaB
YmaxLB
YmaxCW
YcLB
YcCW1
YcCW2
YsA
q1
q2c
n Manning
Tauc
BridgeXSEC_X1, BridgeXSEC_Y1, BridgeXSEC_X2, BridgeXSEC_Y2
UpstreamXSEC_X1, UpstreamXSEC_Y1, UpstreamXSEC_X2, UpstreamXSEC_Y2

11.10.1 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 muelle
- **Icomp:** I; (1, 2, 3, 4); & Método computacional
- **XA, YA:** R; -; y coordenadas del muelle
- **Y1:** R; > 0; m, ft; Profundidad de flujo directamente aguas arriba del muelle
- **V1:** R; > 0; m/s, ft/s; Velocidad aguas arriba del muelle
- **Alfa:** R; [0, 180]; Degrees; Ángulo de ataque
- **alfaRAD:** R; [0, Pi]; Radians; Ángulo de ataque
- **ishape:** I; &; Forma del muelle
- **L:** R; > 0; m, ft; Longitud del muelle
- **a:** R; > 0; m, ft; Ancho del muelle
- **iBedCondition:** I; &; Condición de la cama
- **D50:** R; > 0; m, ft; D50
- **D84:** R; > 0; m, ft; D84
- **Sediment Specific Density:** R; (0,3); y ss
- **Water Specific Density:** R; (0,1.2); & SW
- **K1:** R; &; Factor de corrección para la forma de la punta del muelle.
- **K2:** R; &; Factor de corrección para el ángulo de ataque del flujo.
- **K3:** R; &; Factor de corrección por condición de cama.
- **K:** R; (0,3); (0,3); ancho inferior relativo a Ys.
- **theta:** R; 20-48°; Degrees; ángulo de reposo del material de la cama
- **ys:** R; ≥ 0; m, ft; Profundidad de socavación
- **W:** R; ≥ 0; m, ft; ancho superior del pozo de socavación
- **Wbottom:** R; ≥ 0; m, ft; ancho del fondo del pozo de socavación
- **Fr1:** R; > 0; & Froude Número aguas arriba del muelle
- **FrD:** R; > 0; & Número de Froude de partículas densimétricas
- **SIGMA:** R; > 0; & Coeficiente de gradación de sedimentos
- **Vc:** R; > 0; m/s, 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 or ft; Profundidad máxima de flujo después de la socavación para condiciones de lecho vivo
- **YmaxCW:** R; ≥ 0; m or ft; Profundidad máxima de flujo después de la socavación para condiciones de agua clara
- **YcLB:** R; ≥ 0; m or ft; Profundidad, incluida la socavación por contracción del lecho vivo

- **YsA:** R; &; Profundidad de socavación del pilar
- **YcCW1:** R; ≥ 0 ; m or ft; Profundidad, incluida la socavación por contracción de aguas claras. Método 1
- **YcCW2:** R; ≥ 0 ; m or ft; Profundidad, incluida la socavación por contracción de aguas claras. Método 2
- **q1:** R; ≥ 0 ; m²/s or ft²/s; Descarga de la unidad aguas arriba
- **q2c:** R; ≥ 0 ; m²/s or ft²/s; Descarga de la unidad aguas arriba de la abertura estrecha
- **n Manning:** R; ≥ 0.01 ; -; n de Manning.
- **TauC:** R; ≥ 0 ; Pa or lbf/ft²; Esfuerzo cortante crítico
- **GammaW:** R; ≥ 0 ; N/m³ or lb/ft³; Peso unitario del agua
- **BridgeXSEC_X1, BridgeXSEC_Y1, BridgeXSEC_X2, BridgeXSEC_Y2:** R; -; m or ft; Coordenadas del punto extremo de la sección transversal del puente
- **UpstreamXSEC_X1, UpstreamXSEC_Y1, UpstreamXSEC_X2, UpstreamXSEC_Y2:** R; -; m or ft; Coordenadas del punto extremo de la sección transversal aguas arriba

11.10.2 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.
2. Para modelar las entradas utilice valores de descarga positivos y para modelar las salidas utilice valores negativos.

11.11 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)

...

11.11.1 Ejemplo de un archivo .SOURCES

```

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 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 versus descarga para el drenaje. La segunda fuente es DischargeIN y es de tipo 1 donde se proporciona un hidrograma (tiempo vs 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 versus valores de descarga.
- **X_S Y_S:** R; -; m or ft; Coordenadas de fuente/sumidero.

11.11.2 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.

11.12 Archivo de múltiples fuentes

Este archivo facilita la introducción de muchas fuentes de entrada y normalmente se utiliza al simular varios derrames de una tubería. El archivo puede leerse en QGIS mediante *Import Multi-sources file*, en las herramientas de OilFlow2D. Puede preparar el archivo en cualquier editor de texto con el formato siguiente.

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

...

11.12.1 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 or 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*:

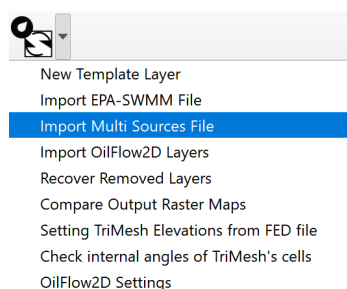


Figura 11.3 – Lectura del archivo de múltiples fuentes.

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.

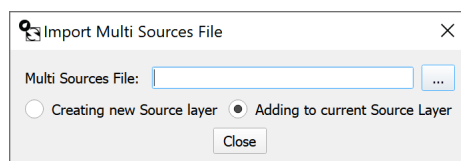


Figura 11.4 – Diálogo de múltiples fuentes.

11.13 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)

11.13.1 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)

11.13.2 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 of ft; Elevación de la cresta del vertedero para todo el vertedero. Si WRCRESTELEVCELL = -999 se proporciona una elevación del vertedero para cada vértice de polilínea del vertedero.
- **WRCRESTELEV:** R; -; m of ft; Elevación de la cresta del vertedero para todo el vertedero. Si WRCRESTELEV = -9999 se proporciona una elevación del vertedero para cada vértice de polilínea del vertedero.
- **WRCREST(I):** R; -; m of ft; Elevación de la cresta del vertedero para el vértice I.
- **X_W(I) Y_W(I):** R; -; m of ft; Coordenadas de vértice que definen cada polilínea de vertedero. Ver comentario 2.

11.13.3 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 la sumersión y ésta ocurre C_d será corregida de acuerdo al factor de corrección definido por (FHWA, 2001).

2. Las polilíneas de vertedero deben definirse evitando cambios abruptos de dirección (por ejemplo, ≥ giros de 90 grados), porque dichos ángulos pueden crear errores en el algoritmo que identifica los nodos que se encuentran sobre la polilínea.

11.14 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))

11.14.1 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 or ft; Coordenadas del vértice del polígono que define la Zona i.

11.14.2 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.

11.14.3 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

11.14.4 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 or ft/s; Componentes de la velocidad del viento en las direcciones x e y.

11.15 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
0.0
NV
X_B(1) Y_B(1)
X_B(2) Y_B(2)
...
X_B(NV) Y_B(NV)

```

11.15.1 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] DEFAULT 1; -; Tipo de pluma definido de la siguiente manera
 - Cortina
 - Barrera
 - Absorbente
 - Barrera de burbujas
- **TRAPPING_FRACTION:** R; > 0 DEFAULT 0.0; -; Fracción de petróleo retenida por el auge respecto del 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; - DEFAULT 0 & *m* o *ft*; Altura del faldón del auge
- **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* or *ft*; Coordenadas de vértice que definen cada polilínea de auge.

11.16 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

11.16.1 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 en 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 or 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 or °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 y. Utilice OL_C1 = 0,018 y OL_C2 = 10.

- **OL_DENS:** R; > 0; kg/m³ or 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.
- Arafin et al. 2006. formulación: $\rho(T) = \rho_0 + \Lambda_p(T - T_0)$, 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. (ver tabla)
- **OL_HTOPTION:** I; 0, 1; -; Modelo básico versus 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 or °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 de superficie aplicable a todas las celdas. Es la variable $h_{retention}$ en la ecuación. El modelo puede considerar una retención de petróleo espacialmente variable si el archivo .deteninitial existe en la carpeta del escenario. Tenga en cuenta que OL_HRETENTION debe ser del orden de milímetros ya que el modelo supone que la velocidad es 0 para toda la profundidad del petróleo por debajo de su valor. Consulte el formato de 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 ; Degrees; No se utiliza en esta versión.
- **OL_VIS:** I; > 0 ; Pa-s or 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 or 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 or 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 formulación².
- 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 or 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 or lb/ft³; Densidad de referencia en Arafin et al. fórmula $\rho(T) = \rho_0 + \Lambda_\rho(T - T_0)$ cuando OL_DENSFOR = 1.
- **T0 (T_0):** R; -; °C or °F; Temperatura de referencia en Arafin et al. fórmula $\rho(T) = \rho_0 + \Lambda_\rho \cdot (T - T_0)$ cuando OL_DENSFOR = 1.
- **T_AIR:** R; -; °C or °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 or 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.

11.16.1.1 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 $^{\circ}\text{F}$, 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.

11.16.2 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 $1.38 \times 10^{-6} \text{ lb-s/in}^2$ y la densidad 50 lb/ft^3 .

11.16.3 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 versus densidad:

```
8
10 1010
15 1004
20 998
```

```
22 995
25 980
30 975
35 970
40 960
```

11.16.4 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 versus 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
```

11.16.5 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

11.16.6 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

```

11.16.7 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 OilFlow2D 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)

11.17 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

End SpillSite

- **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 modo 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; ft²/s - m²/s; Coeficiente de dispersión longitudinal.
- **Disp_T:** R; > 0; ft²/s - m²/s; Coeficiente de dispersión transversal.
- **Disp_V:** R; > 0; ft²/s - m²/s; Coeficiente de dispersión vertical.
- **Spill Accumulated Volume File:** S &; do-; Archivo de volumen de derrame. Ver formato en la sección .
- **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 &-; do-; Archivo de ruta de liberación de derrames. Ver formato en la sección .
- **** [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. ****

11.17.1 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
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
```

[illegible]

```

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

```

11.17.2 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

11.17.3 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.

11.17.4 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

11.17.5 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.

11.18 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)

11.18.1 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 or ft²/s; Coeficiente de dispersión longitudinal.
- **DISPT:** R; > 0; m²/s or 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.

11.18.2 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 OilFlow2D 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 C_v (fracción de 1), mg/l, ppt, ppm o cualquier otra unidad adecuada, siempre que las condiciones límite del flujo de entrada sean consistentes.

11.19 Archivo de datos del módulo de drenaje urbano: .LSWMM

Este archivo de datos permite ejecutar dinámicamente el modelo OilFlow2D junto con el modelo EPA-SWMM para simular la interacción entre la superficie y la red de drenaje pluvial. El usuario puede definir varias ubicaciones de intercambio correspondientes a las bocas de acceso definidas en el archivo de proyecto EPA-SWMM y asignar distintos 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

...

11.19.1 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 fichero corresponde al formato 202507 e indica que existen 2 arquetas. El primero es N1, tiene coordenadas 264930.824 664804.843, Cd = 0,61 y diámetro = 0,8. Tres son 4 celdas que contribuyen al pozo N1 (235 7665 7869 8798) y 5 celdas que contribuyen al pozo N2 (2236 3634 6832 3745 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 versus 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 de intercambio se establece 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 of 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 la arqueta 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 of ft; Coordenadas del nodo de intercambio I.

11.19.2 Archivos de datos de descarga en función de la profundidad

Este formato se aplica a la tabla de profundidad versus 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.

11.19.2.1 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.

Si CALC_OPT = 3, Q se calcula basándose en la herramienta de tejados descrita en la sección.

11.20 Datos de control de salida

11.20.1 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.

NOBSPOINTS

NOBSPOINTS grupos de líneas que contienen el ID del punto de observación y las coordenadas de cada punto:

ObsID

X_OP(I) Y_OP(I)

...

11.20.1.1 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 or ft; Coordenadas del punto.

11.20.2 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 IDX F 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

11.20.2.1 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.

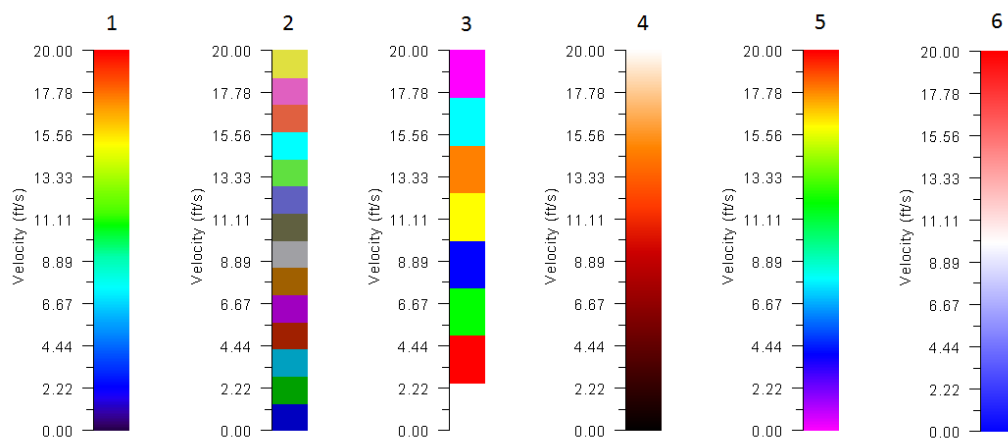
1. No genere archivos gráficos.
2. Generar archivos gráficos.

- **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 or 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 or ft; Estas variables indican las coordenadas de un rectángulo que definen la ventana de trazado. Si todos los valores son 0, se mostrará la extensión completa del área de modelado.

11.20.2.2 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 (se ignora en esta versión)
- Línea 3: B: rotación alrededor del eje x (se ignora en esta versión)
- Línea 4: E: tamaño de píxel en la dirección y, en unidades de mapa y 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 xey 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.

```
& ,
& , ,
& , ,
```

```
• ,: ,
```

11.20.3 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_PRF(I), Y_PRF(I)

...

11.20.3.1 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_PRF(I,J), Y_PRF(I,J):** R; -; m or ft; Coordenadas de cada vértice J del perfil I.

11.20.4 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)

11.20.4.1 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 or 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.

11.20.4.2 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.

11.21 Datos de elevación

11.21.1 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)

11.21.1.1 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 or ft; X Coordenada de cada punto de elevación. Ver comentario 1.
- **Y:** R; -; m or ft; Coordenada Y de cada punto de elevación. Ver comentario 1.
- **P:** R; -; m or ft; Valor del parámetro. Ver comentario 2.

11.21.1.2 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. OilFlow2D no admite coordenadas geográficas en formato de latitud/longitud.
2. Los valores de elevación deben darse en las mismas unidades que las coordenadas correspondientes.

11.22 Archivos de datos de condiciones de contorno

11.22.1 Archivos de condición de límite de una variable

Este formato se aplica a los siguientes archivos de datos:

- Tiempo versus elevación de la superficie del agua (BCTYPE = 1, 17)
- Tiempo vs 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**.

11.22.1.1 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.

11.22.2 Archivos de condiciones de límites de dos variables

Este formato se aplica a los siguientes archivos de datos:

- Tiempo versus Q de descarga y elevación de la superficie del agua (BCTYPE = 5)

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

11.22.2.1 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.

11.22.3 Archivos de condiciones de límites de múltiples variables

Este formato se aplica al siguiente archivo de datos:

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

11.22.3.1 Ejemplo de archivo de condiciones de límites de múltiples variables

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.

11.22.4 Archivos de datos de descarga por etapas

Este formato se aplica a la etapa (elevación de la superficie del agua) versus 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.

11.22.4.1 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 or ft; Elevación de la superficie del agua.
- **Q:** R; > 0 & m³/s o ft³/s; Descarga de agua.

11.22.5 Archivos de datos de descarga en profundidad de alcantarillas

Este formato se aplica a la tabla de profundidad versus 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).

11.22.5.1 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 or ft; Profundidad del agua.
- **Q:** R; > 0; m³/s or ft³/s; Descarga de agua.

12

Referencia del archivo de salida

OilFlow2D genera resultados en numerosos archivos de texto ASCII. Estos archivos pueden abrirse fácilmente con cualquier editor de texto e importarse en QGIS u otro software SIG para su visualización y análisis. OilFlow2D siempre crea archivos ASCII de salida en unidades inglesas y métricas, según las unidades proporcionadas en los archivos de datos.

12.1 Descripción general del archivo de salida

Las tablas siguientes resumen los archivos de salida generados por OilFlow2D:

- **Lista de tiempos de salida:** informa de los tiempos de salida de los archivos de resultados.
- **Parámetros de control de ejecución, componentes utilizados, etc.:** Hace eco de los datos de entrada leídos de archivos que incluyen parámetros de control de modelado, datos de malla, condiciones de contorno y, para cada intervalo de tiempo del informe, descargas y velocidades de entrada y salida, el archivo está en unidades métricas y el archivo en unidades inglesas.
- **Archivos de salida del modelo nativo:** informa de los resultados del modelo en las celdas para cada intervalo de informe.
- **Parámetros de control de ejecución, componentes utilizados, etc.:** Hace eco de los datos de entrada leídos de archivos que incluyen parámetros de control de modelado, datos de malla, condiciones de contorno y, para cada intervalo de tiempo del informe, descargas y velocidades de entrada y salida, el archivo está en unidades métricas y el archivo en unidades inglesas.
- **Información de malla de celdas triangulares:** Estos archivos proporcionan información completa sobre la malla de celdas triangulares. está en unidades métricas y el archivo en unidades inglesas.

- **Resultados del progreso de ejecución:** Este archivo informa, para cada intervalo de salida, del tiempo de cálculo, el paso de tiempo medio, el agua entrante y saliente en los límites 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 los archivos en unidades métricas e inglesas.
- **Series temporales en puntos de observación:** Estos archivos informan series temporales de resultados para la celda donde se encuentra el punto. Los resultados incluyen series temporales de velocidades, profundidades, elevaciones de la superficie del agua y del lecho, cambios de elevación del lecho, condiciones húmedas y secas y número de Froude. El formato del nombre del archivo es el siguiente: para unidades métricas y para unidades inglesas, donde está el 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 OilFlow2D 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.
- **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 el caudal de agua. está en unidades métricas y en unidades inglesas.
- **Hidrogramas de secciones transversales:** informa 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:** informa de los resultados de los vertederos; un archivo está en unidades métricas y WEIRE en unidades inglesas.

- **Resultados generales:** Cuando se selecciona la casilla *Create Graphic Output Files* en el panel *Graphic Output Panel*, el modelo OilFlow2D genera archivos que informan de las velocidades, profundidades, elevaciones de la superficie del agua y del lecho, cambios de elevación del lecho, condición húmeda-seca y número de Froude 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 OilFlow2D. ParaView (<https://www.paraview.org>) es una aplicación de código abierto y multiplataforma para el análisis y la visualización de datos. La exploración de datos puede realizarse interactivamente en 3D o mediante las capacidades de procesamiento por lotes de ParaView.
- **Distribución espacial de resultados para cada intervalo de informe:** Para cada intervalo de salida, se escriben en el archivo las velocidades y profundidades de las celdas, las elevaciones de la superficie del agua y del lecho, los cambios de elevación del lecho, la condición húmeda-seca, el número de Froude, etc. Estos archivos se utilizan para preparar mapas de resultados frente al tiempo. Los nombres de archivo son .
- **Distribución espacial de concentraciones de contaminantes para cada intervalo de informe:** Para cada intervalo de salida, se escriben en el archivo las concentraciones de las celdas. Estos archivos se utilizan para preparar mapas de concentración de contaminantes frente al tiempo. El nombre de archivo es .
- **Coordenadas y propiedades de las partículas de petróleo para cada intervalo de informe:** Para cada intervalo de salida, se escriben en el archivo las coordenadas, el volumen, la densidad, la viscosidad y el estado del petróleo de las partículas. Estos archivos se utilizan para preparar mapas de propiedades del petróleo frente al tiempo. El nombre de archivo es .
- **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.

12.1.0.1 Comentarios para archivos de salida

En el modelo OilFlow2D estos archivos se generan durante el paso final, después de que el modelo termina la ejecución, y al posprocesar los resultados mediante *Plot OilFlow2D results* en el panel *Graphic Output Options* del *Data Input Program*.

12.1.1 Archivos esenciales necesarios para generar mapas, gráficos y animaciones.

Como muestra la lista anterior, OilFlow2D crea un número considerable de archivos con resultados del modelo, y algunos pueden ser enormes en proyectos grandes. Sin embargo, solo se necesita un subconjunto de estos archivos para crear gráficos en OilFlow2D. Saber qué archivos de salida se requieren es importante cuando es necesario reducir el número de archivos que se transfieren a otro equipo. Por ejemplo, al utilizar un servicio en la nube para ejecutar simulaciones, el usuario puede necesitar descargar los resultados a un equipo local. Descargar únicamente los archivos esenciales para el posprocesamiento ayuda a minimizar los costes de conexión.

Esta sección resume los archivos esenciales para crear mapas, gráficos y animaciones en un proyecto de OilFlow2D. Se supone que el proyecto existente ya contiene las capas necesarias para generar los archivos de OilFlow2D, como *Trimesh*, etc.

La siguiente tabla presenta los distintos gráficos y animaciones que se pueden crear con OilFlow2D 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..Ubicación y propiedades del petróleo o plástico para el modelo OilFlow2D. Mapas temporales y animaciones.
- 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 el módulo PL. ## Archivos de salida generales

Esta sección describe el contenido de cada archivo de salida.

12.1.2 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
```

12.1.3 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
```

12.1.4 Resumen de opciones de ejecución, archivos .outi y .oute

Estos archivos replican los datos de entrada leídos de archivos que incluyen parámetros de control de modelado, datos de malla, condiciones de contorno y descargas y velocidades de entrada y salida para cada intervalo de salida. El archivo está en unidades métricas y 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
```

12.1.5 Datos y métricas de la malla, archivos .meshouti y .meshoute

Los datos de la malla se escriben en archivos con extensiones métricas e inglesas. Estos archivos proporcionan información completa sobre la malla de celdas triangulares. La siguiente tabla resume la salida disponible.

- **Número de celdas:** Número total de celdas en la malla
- **Número de nodos:** Número total de nodos en la malla

- **X:** coordenada x del nodo
- **Y:** coordenada y del nodo
- **BEDEL:** elevación inicial del lecho
- **INITIAL_WSE:** Elevación inicial de la superficie del fluido
- **BC ID:** código de condición de contorno
- **BC File:** nombre del archivo de condición de contorno
- **Node1, Node2, Node3:** números de los nodos de cada celda en orden antihorario
- **Manning's n:** coeficiente de rugosidad 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

```

12.1.6 Archivo de resumen de ejecución .rout

El informe resumido de la ejecución se escribe en un archivo con la extensión . Estos archivos informan, para cada intervalo de salida, del tiempo de cálculo, el paso de tiempo medio y, para cada límite abierto, del caudal entrante (positivo) o saliente (negativo) (m^2/s o ft^3/s) y del error de conservación de volumen (%).

12.1.6.1 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)                               (m3/s)         (%)          (m3/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.
```

12.1.7 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 de-

scriben 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

```

12.1.8 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

El nombre de archivo para cada celda es:

para las unidades métricas y
for English units.

El nombre del punto de observación se incluye en el nombre de archivo. Por ejemplo, ese es el nombre del archivo de resultados de la serie temporal del punto de observación. A continuación se muestra un ejemplo.


```

=====
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

```

12.1.9 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
```

OilFlow2D 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 OilFlow2D 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.

12.1.10 Archivo de salida de balance de masa

El archivo informa del balance global de masa y volumen durante toda la simulación. El contenido varía según el módulo utilizado y sigue el formato siguiente:

OilFlow2D–Hydrodynamics

Columna 1: Tiempo

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

OilFlow2D–PL

Columna 1: Tiempo

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

OilFlow2D–UD

Columna 1: Tiempo

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

OilFlow2D

Columna 1: Tiempo

Columna 2: Entrada de volumen de aceite acumulado

Columna 3: Salida de volumen de aceite acumulado

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: Tiempo

Columna 2: Entrada de volumen de aceite acumulado

Columna 3: Entrada de masa de aceite acumulada

Columna 4: Salida de volumen de aceite acumulado

Columna 5: Salida de masa de aceite 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*

12.2 Archivos de salida de componentes

12.2.1 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 con una extensión que informa de los volúmenes de petróleo 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

12.2.2 Archivos de salida de alcantarillas CULVERT_culvertID.out

Para cada alcantarilla, OilFlow2D crea un archivo de salida llamado , donde culvertID es 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
```

12.2.3 Archivos de tablas de clasificación internas IRT_irtID.out

Para cada tabla de clasificación interna, OilFlow2D crea un archivo de salida llamado , donde IrtID es 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 hrs.	WSE m.	QC m ³ /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	

12.2.4 Archivos de salida de vertederos .weiri y .weire

Estos archivos informan de los resultados de los vertederos para cada intervalo de salida. La extensión .weiri corresponde a las unidades métricas y .weire 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 - **Q:** 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 (m ³ /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 m ³ /s					

12.3 Archivos de salida de secciones transversales y perfiles

12.3.1 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 y el número de Froude, 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.

12.3.2 Hidrogramas de secciones transversales .xsech y .xsecsed

Estos archivos solo se generan durante el posprocesamiento mediante el botón *Plot OilFlow2D 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, que informan de una tabla de hidrograma para cada sección transversal. Un archivo .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

```

12.3.3 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

12.4 Archivos de salida para el posprocesamiento en QGIS

12.4.1 Resultados generales en las celdas

Estos archivos ASCII permiten transferir los resultados sin problemas al software del Sistema de Información Geográfica QGIS. Utilizan la extensión .textout y se denominan de la siguiente manera: cell_time_metric_DDDD_HH_MM_SS.textout (unidades métricas), cell_time_eng_DDDD_HH_MM_SS.textout (unidades inglesas) o cell_time_DDDD_HH_MM_SS.textout (salida sin unidades).

Donde DDDD son los días, HH las horas, MM los minutos y SS los segundos. Por ejemplo, cell_time_eng_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 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; -; -
- **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:** n de Manning; -; -

12.4.2 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:

corresponde a un archivo para el tiempo: 1 día, 12 horas, 1 minuto y 34 segundos.

- **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
```

12.4.3 Archivos de concentración de contaminantes (módulo PL)

Estos archivos ASCII contienen resultados del módulo de transporte de contaminantes. Utilizan la extensión y se nombran de la siguiente manera:

Donde dddd son los días, hh las horas, mm los minutos y ss los 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 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 condiciones de contorno
- **2:** Concentración del soluto 2; igual que en las condiciones de contorno
- ...: ...; ...
- **NP_MAX:** Concentración del soluto NP_MAX; igual que en las condiciones de contorno

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.

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.

12.4.4 Archivos de salida de petróleo y plásticos (módulos OilFlow2D Spills On Water y Plastics)

12.4.4.1 Partículas en los archivos de malla

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.textout corresponde a un archivo para el tiempo: 1 día, 12 horas, 1 minuto y 34 segundos.

- **1:** Tiempo desde la liberación; horas
- **2:** Número de 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.

12.4.4.2 Hidrodinámica del agua y volúmenes de petróleo-plástico en los archivos de 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:

- **1:** 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 ...

12.4.4.3 Archivo de volumen máximo de petróleo-plásticos por unidad de área

Estos archivos ASCII informan del volumen máximo de petróleo o plásticos por unidad de área y permiten una transferencia fluida al software QGIS Geographic Information System. Este archivo utiliza la extensión .textout y se denomina _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
...

```

12.4.4.4 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 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.

```

=====
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 (h)	IN MESH (m3)	OUT MESH (m3)	ON SHORE (m3)	ON BOTTOM (m3)	TOTAL (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
...					

12.4.5 Archivos de valores máximos

Estos archivos ASCII informan de los valores máximos del módulo de velocidad, la profundidad y las elevaciones de la superficie del agua, entre otros, y permiten una transferencia fluida al software QGIS Geographic Information System. Estos archivos utilizan la extensión .textout y se denominan _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. 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 $|\vec{U}| = \sqrt{U^2 + V^2}$; 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:** Esfuerzo cortante máximo del lecho; lb/ft²; Pa
- **10:** Fuerza de impacto máxima por unidad de ancho; lb/ft; N/m
- **11:** Tiempos DT límite; -; -

12.4.6 Archivo de salida de tiempo hasta la profundidad en las celdas

El archivo informa del instante en que se alcanzan determinadas profundidades durante la simulación y permite una transferencia fluida al software QGIS Geographic Information System. Los

archivos de tiempo hasta la profundidad tienen el siguiente nombre: `_time2depths_cells.textout`. El formato de estos archivos es el siguiente. La primera línea indica el número de celdas (NELEM) y el número de parámetros de celda (5 de forma predeterminada).

Para el archivo en unidades métricas, siguen NELEM líneas con el tiempo hasta 0.30 m, el tiempo hasta 0.5 m, el tiempo hasta 1 m, el tiempo hasta la profundidad máxima y el tiempo total de inundación para cada celda, como se muestra en la Tabla. Cuando la celda permanece seca o la profundidad es inferior a 0.30 m, el valor informado es -1. El tiempo siempre se expresa en horas. Para el archivo en unidades inglesas, siguen NELEM líneas con el tiempo hasta 1 ft, el tiempo hasta 2 ft, el tiempo hasta 3 ft, el tiempo hasta la profundidad máxima y el tiempo total de inundación para cada celda, como se muestra en la Tabla. Cuando la celda permanece seca o la profundidad es inferior a 1ft, el valor informado es -1.

El tiempo de inundación se calcula como el tiempo total durante la simulación en que la profundidad de la celda es mayor que 0. Si la celda se humedece, luego se seca y vuelve a humedecerse, el período seco intermedio no se considera.

- **Tiempo hasta 0.30 m (métrico) o 1 ft. (inglés)*:** h.
- **2:** Tiempo hasta 0.50 m (métrico) o 2 ft. (inglés)*; h.
- **3:** Tiempo hasta 1 m (métrico) o 3 ft. (inglés)*; h.
- **4:** Tiempo hasta la profundidad máxima*; h.
- **5:** Tiempo de inundación; h.
- **6:** Tiempo de llegada; h.

12.4.7 Archivo de salida de valores de intensidad de peligro en las celdas

Estos archivos ASCII informan de los valores de intensidad del peligro para diversas clasificaciones de peligro utilizadas en distintos países. Incluyen la clasificación de la United States Bureau of Reclamation, los métodos suizos y los criterios utilizados en Austria, Australia y el Reino Unido. El archivo puede utilizarse para crear mapas de peligro en el software del 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 $T_r=100$ yrs.; 0, 1, y 2
- **10:** Austrian Method for Torrents $T_r=10$ 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

12.4.7.1 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).

12.5 Archivos de salida VTK para Paraview

El modelo OilFlow2D generará archivos que informan, para cada intervalo de salida, de las velocidades, profundidades, elevaciones de la superficie del agua y del lecho, cambios de elevación del lecho, condición húmeda-seca y número de Froude. Estos archivos pueden utilizarse con software de terceros, incluido Paraview, para generar gráficos de alta calidad de los resultados de OilFlow2D. 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.

13

Herramientas de OilFlow2D

13.1 Ejecución automatizada por lotes de simulaciones del modelo

Puede ejecutar varias simulaciones de OilFlow2D 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 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](#)

13.1.1 Uso de un script de MS-DOS para ejecutar varias simulaciones por lotes

C:

```
cd "C:\Program Files\Hydronia\OilFlow2D"
```

```
OilFlow2Dm5 "D:\OilFlow2D\Projects\ProjectA\Scenario1\Run1" > "D:\OilFlow2D\Projects\P
```

```
OilFlow2Dm5 "D:\OilFlow2D\Projects\ProjectA\Scenario2\Run2" > "D:\OilFlow2D\Projects\P
```

Advertencia

El nombre del archivo de registro redirigido no debe coincidir con <projectname>.log. El motor OilFlow2D escribe su propio archivo de registro con ese nombre exacto y redirigirlo a la misma ruta bloquea el archivo durante la ejecución del comando, lo que impide iniciar el visor OilFlow2D Plus. Utilice un sufijo diferente, como _batch.log (tal como se muestra arriba), o no redirija la salida.

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 lo que cualquier línea que empiece por % se analizará y ejecutará como un comando en lugar de ignorarse como comentario.

13.1.2 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

oilflow2d_path = r"C:\Program Files\Hydronia\OilFlow2D\OilFlow2Dm5 "

dat_paths = [
    r"C:\Users\hydronia\Documents\OilFlow2D_QGIS\ExampleProjects\OilSpillLand",
    r"C:\Users\hydronia\Documents\OilFlow2D_QGIS\ExampleProjects\OilSpillWater"
]

for path in dat_paths:
    prjPath = oilflow2d_path + path
    call(prjPath)
```

13.1.3 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='of2qgis ')
temp = os.path.join(tmpdir, "temp.bat")

dat_paths = [
```

```
r"C:\Users\hydronia\Documents\OilFlow2D_QGIS\ExampleProjects\OilSpillLandTutorial\OilSpillLandTutorial.qgs"
r"C:\Users\hydronia\Documents\OilFlow2D_QGIS\ExampleProjects\OilSpillWaterTutorial\OilSpillWaterTutorial.qgs"
]
```

```
with open(temp, "w") as f:
    f.write("C:\n")
    f.write('cd "C:\Program Files\Hydronia\OilFlow2D"\n')
    for path in dat_paths:
        f.write('OilFlow2Dm5 "' + path + '" > "' + QFileInfo(path).absolutePath +
            '/Run.log" \n')

subprocess.Popen(temp, shell=True)
```