

MODELACIÓN DE FLUJO DE DETRITOS EN UN CASCO URBANO, CASO DE ESTUDIO: MOCOJA-COLOMBIA

Carlos Alberto Fuentes, Jorge Escobar-Vargas y Alfonso Ramos

Instituto geofísico, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.

E-mail: carlos_fuentes@javeriana.edu.co, jorge-escobar@javeriana.edu.co, a-ramos@javeriana.edu.co

Introducción

En general, el flujo de detritos consiste en un proceso natural de alta complejidad, al involucrar altas cantidades de material sólido de gran heterogeneidad, material líquido y material vegetal que viaja junto al fluido. Un modelo que refleje con fidelidad todos los procesos presentes en el fenómeno implicaría una altísima complejidad en la modelación y una demanda considerable de datos para alimentar el modelo. Se ha encontrado que los modelos disponibles para la modelación de este tipo de eventos están fundamentados en el empleo de las ecuaciones de aguas someras, cuyas simplificaciones y supuestos violan claramente la realidad del proceso natural. Para sortear esta dificultad se emplean parametrizaciones en los modelos con el fin de incorporar efectos adicionales no contemplados en la formulación original de las ecuaciones de aguas someras. En general, estas parametrizaciones consisten en la inclusión de términos sumidero en las ecuaciones de momentum.

También es común, los modelos empleados para simular este tipo de eventos emplean un esquema de discretización espacial de diferencias finitas, lo que en términos generales restringe el tipo de malla y la representación espacial del fenómeno a modelar.

En este documento se presenta el proceso de modelación de un flujo de detritos en una zona urbana, mediante la herramienta de simulación OpenTELEMAC, la cual da solución a las ecuaciones de aguas someras mediante el uso de elementos finitos, lo que permite hacer uso de mallas no estructuradas, haciendo posible la representación con mayor grado de detalle la geometría estudiada, logrando una aproximación más cercana del comportamiento del flujo en vías urbanas. Se explicarán las ventajas de este tipo de malla computacional y ventajas asociadas para este tipo de modelación.

Modificación del modelo numérico empleado

En su estructura original, el modelo soluciona las ecuaciones de aguas someras, lo que significa que en este caso hay una carencia de resistencia a esfuerzos de corte en condición estática, y el fluido modelado termina por ocupar toda la superficie disponible adquiriendo en su estado permanente una superficie libre completamente horizontal. Por supuesto, en el flujo de detritos, que no se comporta como un fluido propiamente dicho, el material sólido incorporado puede presentar resistencia al corte aún en estado estático. Es por esto, que se propuso y se implementó una modificación que permitiese la aproximación del comportamiento más cercana a la observada en el flujo de detritos. A continuación, se presentan las ecuaciones de aguas someras en su forma original. En donde las ecuaciones [1] y [2] corresponden a las ecuaciones de conservación de momentum y la ecuación [3] a la conservación de la masa.

$$\frac{\partial}{\partial t}(hu) + \frac{\partial}{\partial x}\left(hu^2 + \frac{1}{2}gh^2\right) + \frac{\partial}{\partial y}(huv) = -hg\frac{\partial z_b}{\partial x} + \nabla \cdot (h v_T \nabla u) + f_x \quad [1]$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hv) + \frac{\partial}{\partial x}(huv) + \frac{\partial}{\partial y}\left(hv^2 + \frac{1}{2}gh^2\right) = -hg\frac{\partial z_b}{\partial y} + \nabla \cdot (h v_T \nabla v) + f_y \quad [2]$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(hu) + \frac{\partial}{\partial y}(hv) = 0 \quad [3]$$

Se incluyó entonces en las ecuaciones [1] y [2] un término que permitiese representar esta resistencia interna del material a modelar. Originalmente, sobre el fluido como fuerzas de cuerpo solo se ejerce la gravedad en el sentido vertical, si se desea que el material alcance el reposo con un ángulo vertical dado, el material deberá estar en equilibrio en este plano. El término introducido en las dos ecuaciones de momentum, está en dirección opuesta al movimiento, como cualquier término de naturaleza friccional, y anula el componente de la gravedad en dicho plano.

Así los términos adicionados fueron:

$$f_x = -\frac{g \sin(\theta) u}{\sqrt{u^2 + v^2}} h \quad [4]$$

$$f_y = -\frac{g \sin(\theta) v}{\sqrt{u^2 + v^2}} h \quad [5]$$

Desde el punto de vista numérico, fueron realizadas pruebas con dos esquemas de discretización temporal para el término adicional, uno implícito y otro explícito. Se encontró la presencia de oscilaciones en el sentido de la velocidad hallada, cuando el término era incluido de manera explícita, especialmente cuando las velocidades eran bajas y para pasos de tiempo grandes, por el contrario, estas oscilaciones desaparecieron al incluir el término de manera implícita. Sin observarse restricciones adicionales sobre el paso de tiempo empleado para la modelación.

Caso de estudio y descripción de la modelación

Se modeló el evento ocurrido el 31 de marzo de 2018 sobre casco urbano de la ciudad de Mocoja (Colombia), esta modelación tuvo la particularidad de incluir la información de la infraestructura existente como la inclusión de fronteras tipo muro, también fueron explotadas las bondades del uso de una malla no estructurada para refinar las zonas en cercanías de las edificaciones, las calles de interés y los cauces principales, sin que fuese requerido un refinamiento excesivo en zonas de menor interés.

Como entrada del modelo, fueron empleadas series de tiempo de caudal y nivel del flujo, generados con un software que consideró deslizamientos en la parte alta de la cuenca y en su cálculo también permite incorporar el material que se incorpora desde el lecho. La modelación adicional usando esta entrada, permitió lograr mayor precisión en la zona urbana, al lograrse representar geometrías de mayor complejidad con la malla no estructurada y refinada en las zonas de interés.

Los datos del evento fueron limitados, en términos de niveles o velocidades alcanzadas durante el evento, sin embargo, se contó con una caracterización de la zona afectada finalizado el evento, con una caracterización cualitativa de las capacidades de transporte para diferentes zonas. Los parámetros del modelo fueron ajustados para reproducir esta condición.



Figura 1.- Malla no estructurada empleada para la modelación.

Resultados y discusión

Resultado del proceso de estimación de parámetros fue posible reproducir con una precisión adecuada la zona de afectación observada luego del evento, pero además, fue posible inferir la profundidad, las direcciones y magnitudes de las velocidades alcanzadas durante el mismo, también fue posible determinar temporalmente qué zonas podrían ser afectadas primero, logrando una caracterización cuantitativa de las velocidades y profundidades alcanzada por el flujo. Además, se hizo posible evaluar escenarios para cuantificar las áreas afectadas en escenarios de menor o mayor magnitud.

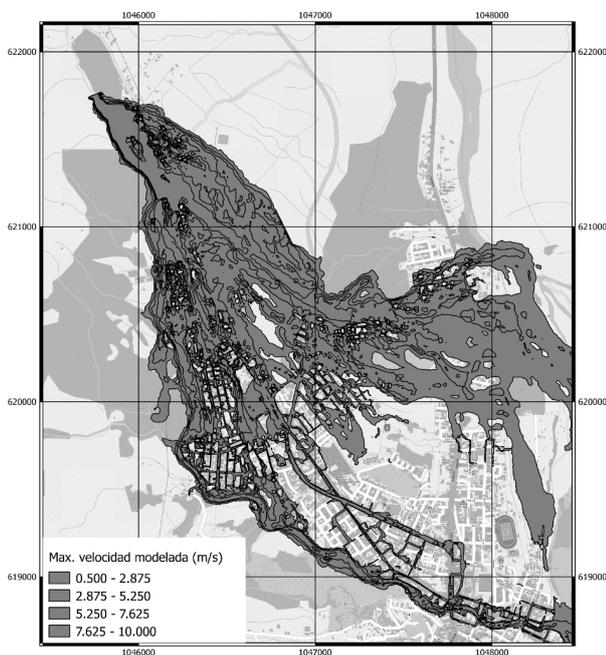


Figura 2.- Resultado modelación del evento, máximas velocidades alcanzadas.



Figura 3.- Área afectada durante el evento (Servicio Geológico Colombiano).

Conclusiones

El uso de una malla no estructurada permitió reproducir la geometría del caso de estudio con mayor fidelidad, logrando que los elementos, en los que se obtienen los resultados, se ajustaran a geometrías relativamente complejas, sin requerirse el uso de mallas excesivamente finas.

Se logró reproducir el área de afectación de un flujo de detritos haciendo uso de un modelo que soluciona originalmente las ecuaciones de aguas someras, incluyendo un término adicional en las ecuaciones de momentum que considera la resistencia interna del material que fluye.

Referencias bibliográficas

Hervouet, J.-M. (2007). Hydrodynamics of Free Surface Flows: Modelling with the finite element method. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Servicio Geológico Colombiano. (2017). Caracterización del movimiento en masa tipo flujo del 31 de marzo de 2017 en mocoaputumayo. Bogotá D.C.