

Effects of the concentration of solids on the phenomenon of super-elevation in artificial curved open channels

INGENIERIA CIVIL

Efectos de la concentración de sólidos en el fenómeno de sobre-elevación en canales artificiales curvos

Iván A. Guerrero[§]¹, David E. Villota¹, Gustavo A. Córdoba¹, Hernán J. Gómez¹¹ GRAMA Research Group, Universidad de Nariño, Colombia. § ivan.guerrero-diaz@hotmail.com, devillota@hotmail.com, gcordobaguerrero@gmail.com, hgoomez@unal.edu.co

(Recibido: diciembre 12 de 2016 - Aceptado: octubre 23 de 2017)

Abstract

This present study analyses the effects of the concentration of solids in the over-elevation phenomenon in a canal with a 180° curvature and a constant trapezoidal transversal section, with a firm bed, the fluid has a non-colloidal, mono-disperse distribution of relatively spherical particles of 1 mm in size, thus making the rheology of the flow describable by the Einstein-Roscoe equation (1). Two stages are proposed for the development of the research; the first corresponds to physical experimentation, achieved using an artificial canal, in which 420 tests were carried out using different concentration of solids and two slopes, in order to determine the behaviour of the bi-phased flow. All of this is carried out by using experimental results and results obtained from numerical models. The data collected from the experimental process is compared to the results obtained from the theoretical models that are reported in literature. An over-elevation equation was formulated from the analysis, which can be used for the bi-phased conditions described in this article. During the second phase, numerical modelling using the TITAN2F software was carried out, where laboratory conditions are replicated. Data found from numerical modelling is compared with experimental results, with the intention of validating the numerical model that TITAN2F uses. From what is mentioned above, it was deduced that TITAN2F effectively reproduces the hydraulic phenomenon. However, it is also observed that the program has a low susceptibility to changes in the concentration of solids, due to the scale being used.

Keywords: *Curved open channels, Concentration of solids, Superelevation, Titan2F*

Resumen

En el presente estudio se analiza los efectos de la concentración de sólidos en el fenómeno de sobre-elevación en un canal con una curva de 180° y de sección transversal trapezoidal constante, con lecho fijo, el fluido tiene una distribución monodispersa no coloidal de partículas aproximadamente esféricas de tamaño 1 mm, por lo que la reología del flujo puede ser descrita por la ecuación de Einstein-Roscoe. Para el desarrollo de la investigación se plantean dos fases; la primera, correspondiente a experimentación física, por medio de un canal artificial, en el que se realizaron 420 ensayos con diferentes concentraciones de sólidos y dos pendientes, para determinar el comportamiento del flujo bifásico. Todo esto se lleva a cabo comparando resultados experimentales y con resultados obtenidos de modelos numéricos. Los datos alcanzados en el proceso experimental se comparan con los resultados obtenidos a partir de modelos teóricos reportados en la literatura. A partir del análisis realizado se formuló una ecuación de sobre-elevación, que puede ser usada para las condiciones de flujos bifásicos expuestas en este artículo. En la segunda fase se realizan modelaciones numéricas usando el software TITAN2F, donde se replican las condiciones del laboratorio. Los datos encontrados a partir de las modelaciones numéricas se compararon con los resultados experimentales, con el fin de validar el modelo numérico que utiliza TITAN2F. De lo anterior, se pudo deducir que efectivamente, TITAN2F reproduce el fenómeno hidráulico; sin embargo, se observa que el programa tiene baja susceptibilidad a cambios de concentración de sólidos debido a la escala utilizada.

Palabras clave: *Canales curvos, Concentración de sólidos, Sobre elevación, Titan2F*

analysed scenarios, it was observed that TITAN2F software generates the superelevation of the flow in the outer wall of the canal's curve in the same way it was perceived experimentally. However, when a more detailed analysis was carried out, it was observed that the program shows low susceptibility to the increase in percentage of solids, in both velocities and superelevation. Also, it was found that superelevation shows a variation of 67%, which could be considered excessive with regards to the change in the slope.

Using the current version of TITAN2F and DEM software with a resolution of 1cm, a low susceptibility was observed for the increase of the percentage of solids. This is due to the fact that the program internally rounds the calculation values to one tenth of a millimetre, due to numerical requirements. This can mean that very small or very low-resolution canals are at the edge of the programs limit. In the same, the current DEM generate an uncertainty of 3cm in the contiguous pixels of the canal walls, which can generate an error that is prolonged by rounding along the canal.

It should be noted that the results of this investigation are valid for prismatic canals, with surface conditions that are approximately smooth and with a curvature of 180°. Future investigations can be used in order to broaden and generalize results.

6. BIBLIOGRAPHY

1. Roscoe R. The viscosity of suspensions of rigid spheres. *British Journal of Applied Physics*. 1952; 3: p. 267–269.
2. Chow VT. *Open channel hydraulics*: Mac Graw Hill; 1959.
3. Streeter VL, Wylie EB, Bedford KW. *Mecánica de los fluidos*.: McGrawHill; 1988.
4. Chanson H. *Hidraulica del Flujo en Canales Abiertos*: MC. GRAW HILL.; 2002.
5. Kofman H. Modelos y simulaciones computacionales en la enseñanza de la Física. *Revista educación en física*. 2000; 6: p. 13-22.
6. Carrillo S JM, Castillo ELG. Análisis del flujo turbulento y bifásico en un aliviadero de presa mediante simulación numérica tridimensional. *Jornadas de introducción a la investigación de la UPCT*. 2010; 3: 99-101.
7. In *Jornadas de introducción a la investigación de la UPCT*; 2010. p. 99-101.
8. Ruiz CMX, Narváez HMB,. Implementación del programa FLOW 3D para la simulación tridimensional del flujo en una estructura de separación de caudales. Tesis pregrado, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Politecnica Nacional. Quito, Ecuador; 2015.
9. Betancur T, Palacio C. La modelación numérica como herramienta para la exploración hidrogeológica y construcción de modelos conceptuales (caso de aplicación: bajo cauca antioqueño). *Dyna*. 2009; 76(160): p. 39-49.
10. Córdoba G, Villarosa G, Sheridan MF, Viramonte JG, Beigt D, Salmuni G. Secondary lahar hazard assessment for Villa la Angostura, Argentina, using two-phase-titan modelling code during 2011 Cordón Caulle eruption. *Nat Hazards Earth Syst Sci*. 2015;15(4):757-66.
11. Ghahfarokhi GS, Vrijling PVGJ. Evaluation of Superelevation in Open Channel Bends with Probabilistic Analysis Methods. In *World Environmental and Water Resources Congress*; 2008: ASCE. p. 1-14.
12. Roche O, Montserrat S, Niño Y, Tamburrino A. Experimental observations of water-like behavior of initially fluidized, dam break granular flows and their relevance for the propagation of ash-rich pyroclastic flows, *J Geophys Res*. 2008; 113: B12203; doi: HYPERLINK "http://dx.doi.org/10.1029/2008JB005664" "t" _blank" \o "Link to external resource: 10.1029/2008JB005664" 10.1029/2008JB005664
13. Campos-Aranda D. Aproximación empírica a la solución bivariada de avenidas de diseño en embalses sin hidrometría. *Agrociencia*. 2010; 44(7): p. 735-752.
14. Sánchez JMC, Elsitdié LGC. Validación de simulaciones de flujo bifásico en programas de CFD. *Anuario de Jóvenes Investigadores*. 2014; 7: p. 102-104.

15. Scheidl C, McArdell BW, Rickenmann D. Debris-flow velocities and superelevation in a curved laboratory channel. *Canadian Geotechnical Journal*. 2014; 52(3): p. 305-317.
16. Mendez D, Steeven A, Tarquino C, Candía G, Angel J. Instalación y montaje del laboratorio de hidráulica de canales. Informe de Grado. GIRARDOT: UNIMINUTO; 2009.
17. Iverson RM. The physics of debris flows. *Reviews of geophysics*. 1997 august; 35(3): p. 245-296.
18. Rickenmann D. Empirical relationships for debris flows. *Natural hazards*. 1999; 19(1): p. 47-77.
19. Coussot P, Meunier M. Recognition, classification and mechanical description of debris flows. *Earth-Science Reviews*. 1996; 40(3).
20. Pierson T. Hydrologic consequences of hot-rock/snowpack interactions at Mount St. Helens Volcano. Washington, 1982-84. U.S. Geological Survey ; Information Services [distributor]. 1997;: p. 39-49.
21. Pierson T. Debris-flow Hazards and Related Phenomena: Springer Berlin Heidelberg; 2005.
22. Turnbull B, Bowman ET, McElwaine JN. Debris flows: Experiments and modelling. *Comptes Rendus Physique*. 2015; 16(1): p. 86-96.
23. Córdoba G, Sheridan MF, Pitman EB. A two phase, depth averaged model for geophysical mass flows in the TITAN code framework. In CMG-IUGG; 2010; Pissa, Italy.
24. Baird DC. Experimentación: una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos Mexico.D.F.:Prentice-Hall Hispanoamericana.; 1991.
25. Gutiérrez H, Salazar R. Análisis y diseño de experimentos Mexico D.F.: Mc Graw Hill; 2008.
26. Tarrab L, Vionnet CA, Rodríguez A. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN DE ASPECTO ANCHO/TIRANTE (B/H) EN LOS FLUJOS EN CURVA. Centro de Estudios Hidro-Ambientales-CENEHA. Argentina. 2006.
27. McClung DM. Superelevation of flowing avalanches around curved channel bends. *Journal of Geophysical Research*. 2001; 106(B8): p. 16489-16498.
28. Ruiz-Bueno A. La mostra: alguns elements per a la seva confecció. REIRE. *Revista d'Innovació i Recerca en Educació*. 2008; 1(1): p. 75-88.
29. Stephens MR, Spiegel L. Estadística. 4th ed. D.F.: Mc Graw-Hill.; 2009.
30. Broquetas A. Obtención de modelos digitales del terreno y detección de pequeños movimientos de la superficie terrestre mediante interferometría radar desde satélite. In AET 1997. In Teledetección aplicada a la gestión de recursos naturales y medio litoral marino: VII Congreso Nacional de Teledetección; 1997; Santiago de Compostela. p. 252-255.
31. Recondo C, Menéndez C, García P, González R, Sáez E. Estudio de las zonas propensas a sufrir deslizamientos en los Concejos de Oviedo y Mieres (Asturias) a partir de una imagen Landsat-TM y de un Modelo Digital de Elevaciones. *Revista de teledetección*. 2000; 14.
32. Rabus B, Eineder M, Roth A, Bamler R. The shuttle radar topography mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*. 2003; 57(4): p. 241-262.
33. Polidori L. Aptitudes et limitations du radar à ouverture synthétique pour la cartographie. *Bulletin-Société française de photogrammétrie et de télédétection*. 1992;(125).
34. Felicísimo A. Modelos Digitales de Terreno. Introducción y aplicación en las ciencias ambientales Oviedo: Extraído de <http://etsimo.uniovi.es/feli/>; 1994.
35. Gutiérrez Á, Schnabel S, Conoscenti C, Almaru N, Ferro V, Di Stefano C, et al. Elaboración de modelos 3D de diferentes morfologías y escalas utilizando técnicas Structure-from-Motion y fotografías terrestres. *Cuaternario y Geomorfología*. 2016; 30(1-2): p. 23-35.
36. Frau CM, Pino LM, Rojas YO, Hernández YM. Generalización de Modelo Digital de Elevación

- Condicionada por Puntos Críticos de Terreno. Bol. Ciênc. Geod. 2011; 17(3): p. 439-457.
37. Iverson RM, Schilling SP, Vallance JW. Objective delineation of lahar-inundation hazard zones. Geological Society of America Bulletin. 1998; 110(8): p. 972-984.
38. Muñoz E, Castillo M, Manea V, Manea M, Palacios D. Lahar flow simulations using LAHARZ program: Application for the Popocatepetl. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2009; 182: p. 13-22.
39. Li Q, Ito K, Wu Z, Lowry C, Loheide S. COMSOL Multiphysics: A Novel Approach. GROUND WATER. 2009; 47(4).
40. Neteler M, Mitasova H. Open source GIS: a GRASS GIS approach: Springer Science & Business Media; 2013.
41. Dagnino J. Coeficiente De Correlacion Lineal De Pearson. Chil Anest. 2014; 43: p. 150-153.
42. Chao L, Castaño J. Estadística para las ciencias administrativas: McGraw-Hill; 1993.



Revista Ingeniería y Competitividad por Universidad del Valle se encuentra bajo una licencia Creative Commons Reconocimiento - Debe reconocer adecuadamente la autoría, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de una manera que sugiera que tiene el apoyo del licenciador o lo recibe por el uso que hace.