

Comparación de Modelo Matemático bidimensional de Aliviadero con Dispositivo Experimental.

Tema D. Estructuras hidráulicas (primera opción).

Autor: Eduardo Martínez

Coautor: Miguel Angel Toledo, Eduardo M. Marín.

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (UPM).

c/ Profesor Aranguren, s/n, 28040 Madrid, Spain, web page: <http://www.caminos.upm.es/>

Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno

e-mail: eduardo_m_o@hotmail.com

1 Resumen

Esta comunicación detalla la comparación de los resultados de un modelo de un aliviadero con cajeros altamente convergentes y el resalto que se produce mediante: 1) Un dispositivo experimental. 2) El modelo matemático bidimensional InfoWorks 2D. Se usa una malla bidimensional triangular sin estructura. La comparación de los resultados en el dispositivo experimental y en el matemático muestra que este tipo de estructuras pueden ser modelizadas con modelos matemáticos bidimensionales.

2 Introducción

La modelización bidimensional está siendo muy usada para modelizar la hidráulica fluvial. Este tipo de modelización puede ser utilizada en muchos más tipos de modelos como los de estructuras hidráulicas sin necesidad de utilizar complejos modelos tridimensionales.

Esta comunicación demuestra que los resultados obtenidos con el modelo matemático InfoWorks y con el modelo físico son suficientemente aproximadas. Por ello, se puede concluir que dichas estructuras se pueden modelizar con este modelo 2D, aunque exista una cierta componente 3D.

La metodología consiste en la comparación de resultados obtenidos en un modelo físico construido en la Escuela de Caminos, Canales y Puertos de la UPM con los resultados del modelo matemático.

3 Dispositivo Experimental y modelo Numérico

3.1 Dispositivo Experimental

El modelo físico es un aliviadero de una presa con cajeros laterales altamente convergentes. Para comparar el modelo físico y el numérico, se utiliza el aliviadero central. Las dimensiones del dispositivo experimental son:

Altura: 0,575 m

Talud aguas arriba: Vertical

Talud aguas abajo: 0.8

Longitud del aliviadero: 1 m

Distancia del pie de presa al muro vertical: 2,1 m

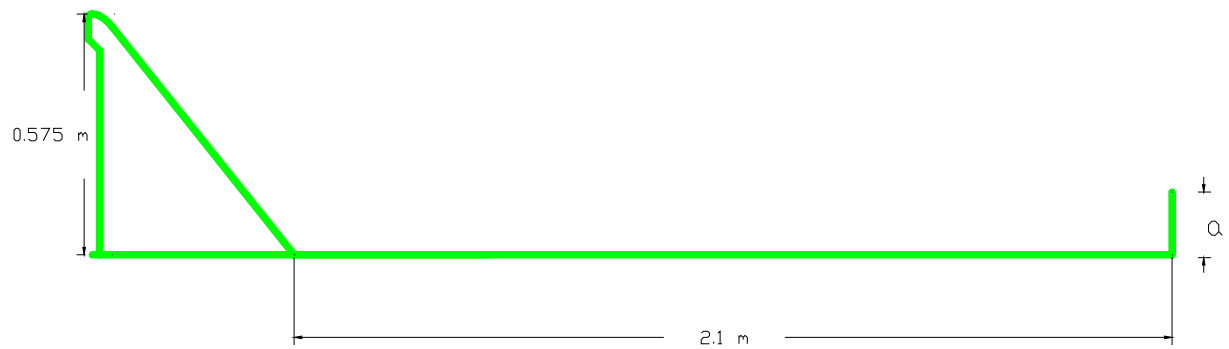


Figura 1 Sección transversal de la presa y restitución



Figura 2 Dispositivo experimental con limnómetros

3.2 Modelo Matemático InfoWorks

Se ha usado el modelo matemático InfoWorks RS 2D con una malla sin estructura.

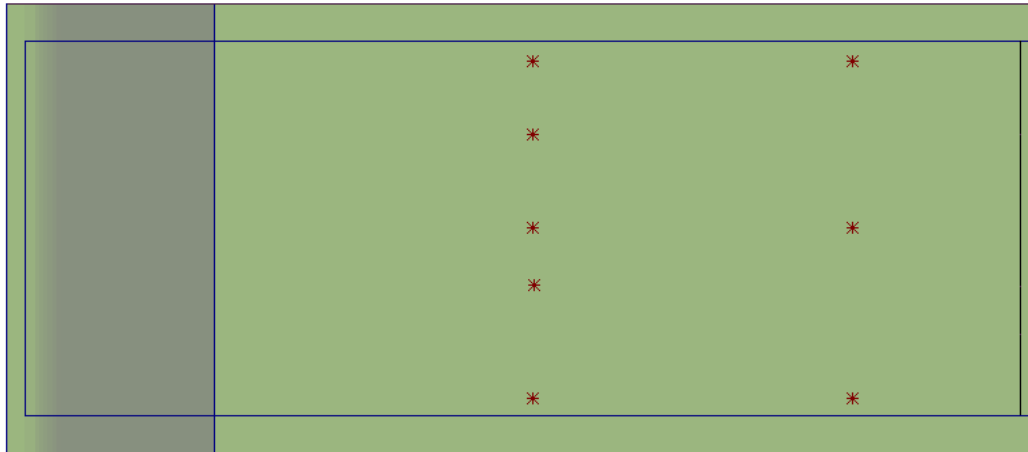


Figura 3 Modelo InfoWorks con limnómetros

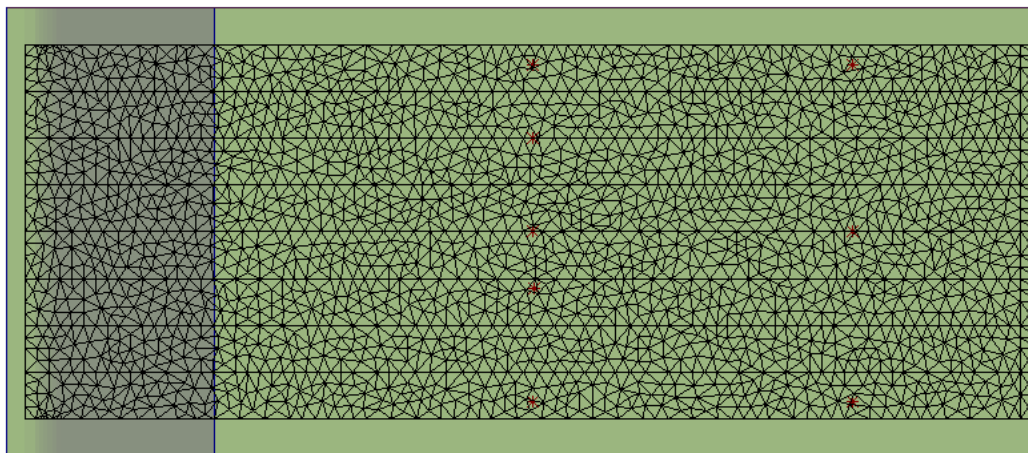


Figura 4 Modelo InfoWorks con mallado 2D

En InfoWorks la rugosidad se aplica según la proyección horizontal, dado que, los modelos están pensados para pendientes que suelen tener los ríos, las cuales suelen ser pequeñas. Por ello, se ha tenido que aplicar un coeficiente de Manning corregido al modelo matemático en la zona del aliviadero corregido para tener en cuenta esto. El cálculo del Manning corregido, usando la ecuación de pérdida de energía, tanto en el dispositivo experimental como en el modelo numérico se tiene:

$$L I = L \frac{n^2 V^2}{R_h^{4/3}} = L' I' = L' \frac{(n')^2 (V')^2}{(R'_h)^{4/3}}$$

Se puede considerar que $R_h \cong d$. Por ello:

$$n' = 2.769 n$$

Considerando que la pendiente horizontal es 0.010, entonces, la n' sobre el aliviadero es:

$$n' = 0.0277$$

4 Metodología

4.1 Ensayos

La metodología consiste en comparar el modelo matemático con las soluciones analíticas que se conocen y después comparar los resultados del dispositivo experimental, construido en el Laboratorio de Hidráulica de la Escuela de Caminos, Canales y Puertos de UPM.

Se ensayaron cuatro escenarios. Cada escenario es la combinación de un caudal y una altura del muro al final del modelo “a”.

Tabla 1 Descripción de las variables de cada uno de los cuatro escenarios.

Caudal (l/s)	15	30	45	60
a (cm)	6.5	8.8	10	10.5

4.2 Medidas

En cada escenario, se midió el calado en ocho puntos distintos. Los limnímetros 1,2,3,4 y 5 se situaron en la sección A y los 6,7 y 8 en la sección B. La figura siguiente muestra los nombres y la posición de los limnímetros.

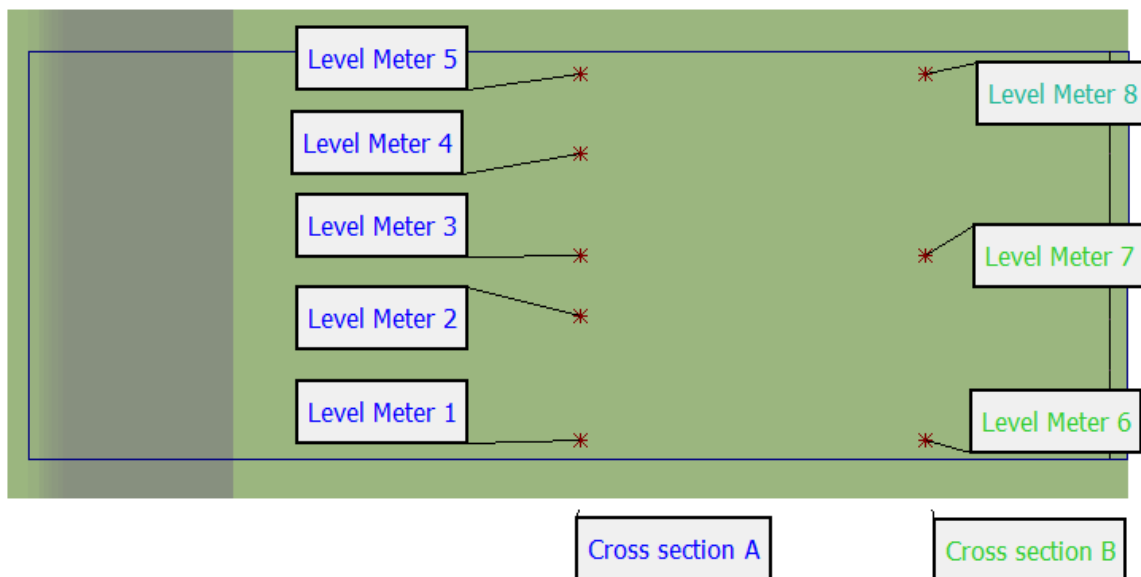


Figura 5 Modelo InfoWorks con secciones A y B

Se utilizaron ocho limnímetros manuales y también se midió la velocidad en varios puntos del modelo físico usando un 3D Nortek (NDV) de 10 MHz.



Figura 6 Ensayo de 15l/s en el dispositivo experimental



Figura 7 Ensayo de 15l/s en el modelo matemático

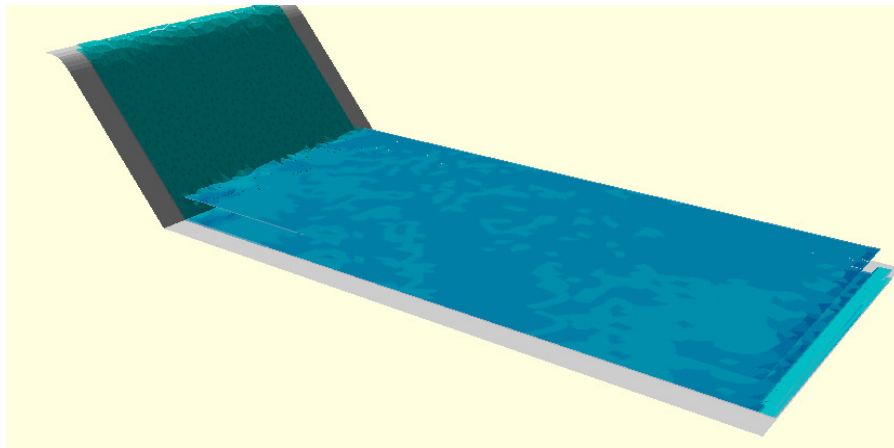


Figura 8 Vista 3D del modelo matemático

5 Resultados

Por brevedad sólo se incluye el resumen de los resultados en esta comunicación.

5.1 Resultados del dispositivo experimental

Los resultados del dispositivo experimental se incluyen en la tabla siguiente (medidas en cm)

Tabla 2 Resultados medidas en centímetros en dispositivo experimental

Caudal (l/s)	15	30	45	60
Limnómetro 1	9,13	13,54	17,08	19,62
Limnómetro 2	8,99	12,55	16,64	18,45
Limnómetro 3	8,88	12,13	16,38	17,41
Limnómetro 4	8,79	11,37	14,33	16,07
Limnómetro 5	8,99	11,85	14,85	16,83
Limnómetro 6	9,79	13,54	17,20	18,86
Limnómetro 7	9,50	12,87	16,24	16,45
Limnómetro 8	9,52	12,69	16,90	16,03
Media	9,20	12,57	16,20	17,47
Media en Sección A	8,96	12,29	15,86	17,68
Media en Sección B	9,60	13,03	16,78	17,11

5.2 Resultados del modelo InfoWorks

Los resultados del modelo matemático se muestran en la tabla siguiente (medidas en cm)

Tabla 3 Resultados medidas en centímetros en el modelo matemático

Caudal (l/s)	15	30	45	60
Limnómetro 1	9,87	14,00	16,64	18,34
Limnómetro 2	9,87	14,00	16,63	18,33
Limnómetro 3	9,86	13,99	16,62	18,32
Limnómetro 4	9,88	14,01	16,66	18,36
Limnómetro 5	9,87	14,00	16,64	18,35
Limnómetro 6	9,87	14,00	16,64	18,35
Limnómetro 7	9,87	14,00	16,65	18,36
Limnómetro 8	9,88	14,01	16,66	18,37
Media	9,87	14,00	16,64	18,35
Media en Sección A	9,87	14,00	16,64	18,34
Media en Sección B	9,87	14,00	16,65	18,36

5.3 Comparación de los resultados del modelo matemático y el dispositivo experimental

A continuación se muestra una tabla con el resumen de la comparación de resultados de ambos modelos (medidas en cm)

Tabla 4 Comparación de resultados

Caudal (l/s)	15	30	45	60
Limnómetro 1	-8.0%	-3.3%	2.6%	6.5%
Limnómetro 2	-9.8%	-11.5%	0.0%	0.7%
Limnómetro 3	-11.0%	-15.3%	-1.5%	-5.2%
Limnómetro 4	-12.4%	-23.2%	-16.3%	-14.3%
Limnómetro 5	-9.8%	-18.1%	-12.1%	-9.0%
Limnómetro 6	-0.8%	-3.4%	3.3%	2.7%
Limnómetro 7	-3.9%	-8.8%	-2.5%	-11.6%
Limnómetro 8	-3.8%	-10.4%	1.4%	-14.6%
Media	-7.4%	-11.8%	-3.1%	-5.6%
Media en Sección A	-10.2%	-14.3%	-5.4%	-4.3%
Media en Sección B	-2.8%	-7.5%	0.7%	-7.8%

5.4 Comparación de las pérdidas de energía entre el modelo matemático y el dispositivo experimental

A continuación se incluye una tabla con el resumen de la comparación de pérdidas de energía en ambos modelos (medidas en cm)

Tabla 5 Comparación de pérdidas de energía en ambos modelos

Caudal (l/s)	15	30	45	60
Energía Total Inicial (m)	0.62	0.64	0.65	0.67
Pérdidas en Aliviadero (m)	0.27	0.17	0.12	0.09
Energía Total antes del resalto	0.34	0.47	0.54	0.58
Pérdidas en resalto (m) (Sección A) Dispositivo Experimental	0.25	0.35	0.37	0.40
Pérdidas en resalto (%) (Sección A) Dispositivo Experimental	73.5%	73.3%	69.7%	68.5%
Pérdidas en resalto (m) (Sección A) Modelo Numérico	0.24	0.33	0.37	0.39
Pérdidas en resalto (%) (Sección A) Modelo Numérico	71.0%	69.8%	68.3%	67.4%
Diferencia de Energía (m) (Dispositivo Experimental – Modelo InfoWorks)	2.6%	3.5%	1.4%	1.1%

6 Conclusiones

El modelo de InfoWorks con una malla de volúmenes finitos se comporta de forma adecuada para este tipo de modelos.

Los resultados de los ensayos con 15, 30, 45 y 60 l/s muestran diferencias en un rango de 3% al 12% en calado y un rango del 1% al 3% en pérdida de energía.

Estas diferencias son debidas a que el caudal presenta un cierto comportamiento tridimensional, no sólo bidimensional. El comportamiento 3D incrementa algo la pérdida de energía.

Sin embargo, la pérdida de energía en el modelo físico está entre el 68% y el 74% y en el 67% y el 71% en el modelo matemático, lo que hace que InfoWorks sea adecuado para el estudio de estos aliviaderos.

7 Referencias

- [1] Chow, V. T. (1959). Open channel hydraulics, MacGraw Hill Book Co. New York
- [2] Hollinrake, P. G. (1989). The structure of flow in open channels – a literature search. Vol. 3, Research Report SR 209, Hydraulics Research Ltd., Wallingford, England
- [3] Francisco Alcrudo and Jonatan Mulet (2005) Urban inundation models based on the ShallowWater equations. Numerical and practical issues. Hermes Science,. In: F. Benkhaldoun, D. Ouazar & S. Raghay, eds.
- [4] Margeirsson, B. (2007) “Computational Modeling of Flow over a Spillway in Vatnsfellsstífla Dam in Iceland”.
- [5] Meselhe, E. A., Sotiropoulos, F. and Holly F. M. Jr. (1997). Numerical simulation of transcritical flow in open channels. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 123, N° 9, September.
- [6] J.Lhomme, J.Gutierrez-Andrés, A.Weisgerber, M.Davison, J.Mulet-Marti, A-Cooper and B. Gouldby. (2009). Testing a new two-dimensional flood modeling system: analytical tests and application to a flood event. Journal of Risk Management, 3, issue 1 (DOI 10.1111/j.1753-318X.2009.01053.x). pp. 33-51.
- [7] Salih Kirkgöz, M. (1989). Turbulent velocity profiles for smooth and rough open channel flow. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 115, N° 11, Noviembre, pp. 1543-1561.
- [8] Pugh, C. A., (1994), Fundamentals and Advancements in Hydraulic Measurements and Experimentation Proceedings of the Symposium held in Buffalo, New York, August
- [9] New York: ASCE, 0-7844-0036-9, 1994, 546 pp.
Peterka, A. J., (1984). Hydraulic Design of Spillways and Energy Dissipators Bureau of Reclamation.
- [10] Myers, W. Robert C. (1991). Influence of geometry on discharge capacity of open channels. Journal of Hydraulic Engineering. Vol. 117, N° 5, Mayo, pp. 676-680.
- [11] Hollinrake, P. G. (1987). The structure of flow in open channels – a literature search. Vol. 1, Research Report SR 96, Hydraulics Research Ltd., Wallingford, England.
- [12] Hager, W. H. (1984). Some scale effects in distribution channels. Presented at the September 3-6, 1984, Symposium on Scale Effects in Modelling Hydraulic Structures, held at Esslingen am Neckar, West Germany.
- [13] Ya-Kun, L. and Han-gen, N. (2008) “Abrupt Deflected Supercritical Water Flow in Sloped Channels”. Journal of Hydrodynamics 2008, 20(3): 293-298
Muppidi, S. and Mahesh, K. (2005) “Direct numerical simulation of turbulent jets in crossflow” American Institute of Aeronautics and Astronautics. Paper 2005-1115.