

ANÁLISIS DE LA ROTURA DE UNA PRESA. MODELACIÓN FÍSICA, NUMÉRICA, Y APLICACIÓN A UN CASO REAL

Diego Cruz Merino¹, José Luis Aragón Hernández², Germán Adrián Aguilar Martínez³, Ernest Bladé Castellet⁴ y Óscar Arturo Fuentes Mariles³

¹ Secretaría de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM, México.

² Departamento de Hidráulica, División de Ingenierías Civil y Geomática, Facultad de Ingeniería, UNAM, México.

³ Coordinación de Hidráulica, Instituto de Ingeniería UNAM, México.

⁴ Instituto de Investigación Flumen (UPC y CIMNE), España.

E-mail: dcruz@ii.unam.mx, jaragonh@unam.mx, gaguilarm@ii.unam.mx, ernest.blade@upc.edu, ofm@ii.unam.mx

Introducción

Las presas, son una de las obras de ingeniería de mayor provecho para el hombre por garantizar el abastecimiento de recursos hídricos a grandes ciudades, permitir el desarrollo de la agricultura, proteger territorios de los efectos devastadores de grandes avenidas, generar energía eléctrica, contribuir al desarrollo de actividades turísticas, etc.

Por lo tanto, las presas proporcionan grandes beneficios al ser humano, pero también resultan potencialmente peligrosas por la vasta cantidad de los volúmenes de agua que almacenan. La falla de la cortina de una presa puede asociarse a diversos factores, los cuales se conocen por los muchos casos recopilados en la literatura, las causas: construcción inadecuada, eventos mayores a los de diseño, etc. (Marengo, 2011).

Por un lado, el material de la cortina de una presa puede ser de materiales graduados, concreto estructural o ciclópeo, por el otro, las fallas principales pueden ser por tubificación y desbordamiento; en este trabajo nos enfocaremos a este último.

En México, para los grandes embalses disponibles, en su gran mayoría no disponen de planes de emergencia ante la rotura de una cortina, por lo que los daños materiales e incluso la pérdida de vidas humanas podrían ser importantes, de ahí la importancia en conocer las características de las fallas y sus posibles consecuencias que representan.

La falla de una presa es un fenómeno que se produce de manera súbita y el tiempo de respuesta depende de muchos factores, la mayoría dentro de las capacidades de entendimiento del ser humano, pero existen otros que están fuera de su alcance.

Es por ello, en este trabajo se analizó la rotura de presas, desde el fenómeno que lo ocasiona, el proceso de formación de la brecha, y la propagación del hidrograma de salida hacia aguas abajo, primero mediante el empleo de un modelo físico y posteriormente realizando la aplicación a un caso real, con un modelo numérico bajo distintas aproximaciones. Así mismo, producto de los resultados anteriores se elaboraron mapas de peligro por inundaciones.

Modelo físico

En este trabajo, se parte de un modelo físico realizado (Rivera, 2010), en el Laboratorio del Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM (Figura 1). El modelo se instrumentó para medir los procesos más representativos que intervienen en la rotura de presas, para posteriormente analizarlos en detalle y sacar las conclusiones respectivas, entre ellos, la formación de la brecha (figura 2) y el hidrograma de salida (figura 3).



Figura 1.- Modelo físico.



Figura 2.- Evolución de la brecha.

Posteriormente, se reprodujo un ensayo de la rotura de la cortina empleando el software IBER (Bladé et al, 2014); Iber es un modelo numérico de flujo a superficie libre de aguas someras en dos dimensiones que incluye un módulo hidrodinámico y uno de transporte de sedimentos; en esta etapa se calibró dicho modelo a través del hidrograma de salida generado por la evolución de brecha (Figura 3); la fórmula de transporte de Van Rijn arrojó los mejores resultados. Además, se realizó una comparación cuantitativa de la forma de la brecha.

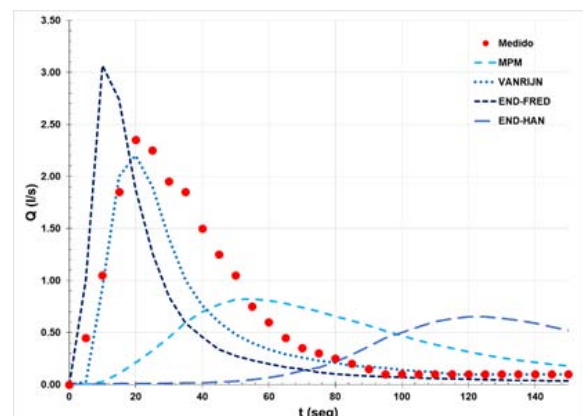


Figura 3.- Hidrogramas de salida: medido y calculados.

Aplicación

Se realizó una aplicación en la presa “La Codorniz”, esto es, una falla hipotética. La presa se ubica en el estado de Aguascalientes, México; la cortina es de tierra y enrocamiento, según la Comisión Nacional del Agua, se encuentra en la categoría de grandes presas con peligro de rotura (Marengo, 2011). Para la rotura hipotética, se analizaron tres escenarios; el primero, una falla súbita de toda la cortina, el segundo, empleando el criterio del USBR, en el tercero, se modela el proceso de erosión con distintas ecuaciones de transporte de fondo (Cruz, 2018).

Resultados

Finalmente, se realizó una comparación de resultados, entre ellos, caudales punta y volúmenes de los hidrogramas de salida por la brecha, tiempos de llegada a las distintas localidades afectadas (figura 4), profundidades y velocidades presentes en cada localidad, y mapas de peligro por inundación (figura 5).

Por ejemplo, en la localidad de Calvillo ubicada a 20 km de la cortina, se presenta un área inundada de 1.676 km² (30 %), profundidad y velocidad promedio de la inundación de 0.5 m y 2.5 m/s, respectivamente, por lo que presenta peligro de moderado a alto; el tiempo de llegada es de 2.3 hr (P3, en figura 4).

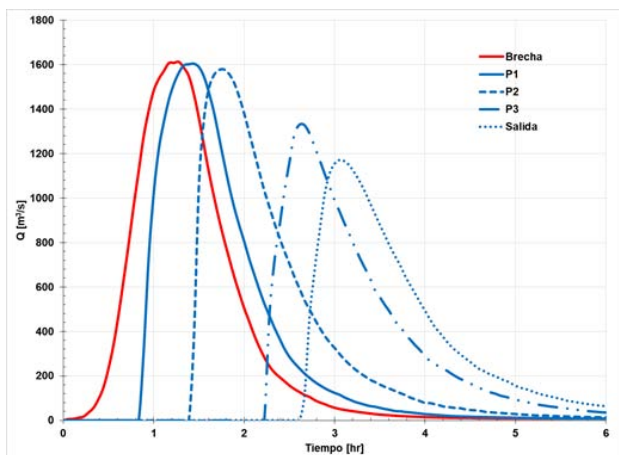


Figura 4.- Hidrogramas de llegada a distintos puntos de interés.

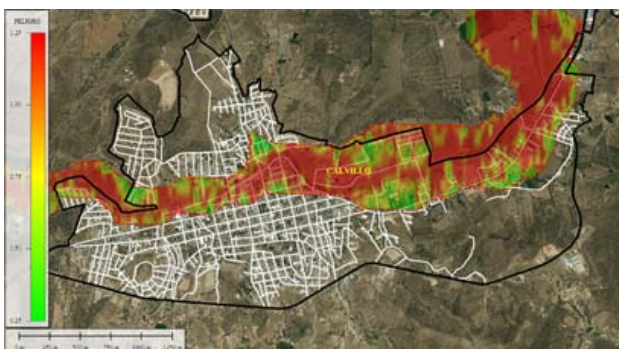


Figura 5.- Peligro por inundación en la localidad Calvillo.

Conclusiones

La rotura de presas es un fenómeno altamente dinámico, complejo, y hoy día objeto de investigación, debido al interés de conocer las variables involucradas en el proceso y por el peligro que representa a los bienes expuestos.

En este trabajo, se utilizaron y analizaron los resultados de un modelo físico para calibrar un modelo numérico mediante el hidrograma de salida de la brecha, compuesto por un módulo hidrodinámico y de transporte de sedimentos; en este último se utilizó la fórmula de transporte con mejores resultados, en este caso la fórmula de Van Rijn.

La aplicación del mismo a un caso real, se hizo mediante tres aproximaciones; los resultados obtenidos son de gran interés, ya que con ellos es posible determinar el peligro de inundación y realizar planes de prevención, primero para reordenar los bienes expuestos y segundo para mitigar sus consecuencias.

Referencias bibliográficas

- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, M. E., Dolz, J., y Coll, A. (2014). “Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos.” *Revista Internacional de Métodos Numéricos para cálculo y diseño en Ingeniería*, 30(1), 1–10.
- Cruz, M. (2018). *Análisis de la rotura de una presa. Modelación numérica, experimental y la aplicación a un caso real*. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 83 pp.
- Marengo, H. (2011). *Análisis de Riesgo de Falla en Presas*. Academia Mexicana de ingeniería.
- Rivera Díaz C. (2010). *Caracterización experimental del hidrograma de salida de la ruptura de una presa*. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 76 pp.