

SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DE UNA PRESA PARA CONTROL DE AVENIDAS UTILIZANDO UN MODELO FLUVIAL BIDIMENSIONAL

Víctor Hugo Guerra-Cobián, Adrián Leonardo Ferriño-Fierro, Fabiola Doracely Yépez-Rincón, Ricardo Alberto Cavazos-González, Omar Antonio Cardiel-Vázquez y Pedro Jaime Gómez-Ramírez

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto de Ingeniería Civil,
Av. Universidad s/n Ciudad Universitaria, San Nicolás de Los Garza, Nuevo León, México C.P. 66455
E-mail: cobian64@hotmail.com, a.ferrino@icloud.com, laprofeypepez@gmail.com, ricardo.cavazosgzz@gmail.com,
omar_1oa@hotmail.com

Introducción

Las inundaciones ocasionan daños a la propiedad y pone en peligro la vida de los humanos. Las altas velocidades del flujo del agua causan la erosión del suelo. Además, puede ocurrir daño estructural en estribos de puentes y otras estructuras dentro de las zonas de desbordamiento. Una forma de evitar lo anterior es a través del control de avenidas, el cual está constituido por el conjunto de medidas tanto estructurales como no estructurales, las cuales están destinadas a proteger una determinada zona contra las inundaciones. Por ejemplo, los embalses para el control de avenidas, son embalses que generalmente permanecen vacíos; sin embargo, se llenan rápidamente con la llegada de la avenida, y se vacían lentamente desfogando caudales que no causan daños aguas abajo.

El diseño de las estructuras de control de avenidas con base en presas de retención, se efectúa empleando los criterios unidimensionales del tránsito de avenidas en vasos (Ramírez y Aldama, 2001). Sin embargo, actualmente con el desarrollo de la dinámica de fluidos computacional o CDF (por su nombre en inglés), se pueden llevar a cabo simulaciones bidimensionales que resuelven las ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad, también conocidas como ecuaciones de St. Venant 2D. Los CFD se fundamentan en la resolución numérica de las ecuaciones fundamentales de la conservación de la materia, ecuación del transporte, energía y cantidad de movimiento en un dominio discretizado, es decir convertido en una malla (volúmenes o elementos finitos). La aplicación de estos modelos en el diseño de estructuras de control de avenidas permite conocer o representar de una forma más cercana a la realidad el tránsito de avenidas en cauces y en embalses.

El presente trabajo muestra los resultados de la simulación hidráulica bidimensional con Iber en la presa de control de avenidas Corral de Palmas, más conocida como "Rompepicos" localizada en la cuenca del río Santa Catarina en el Estado de Nuevo León, México. La Presa tiene como objetivo proteger el Área Metropolitana de Monterrey de las avenidas asociadas a huracanes. Se terminó de construir en 2004 y a la fecha ha controlado las avenidas de dos huracanes: el huracán Emily de 2005 y el huracán Alex de 2010 (figura 1).



Figura 1.- Control de la avenida durante el huracán Alex de 2010.

Metodología

La presa Rompepicos se construyó sobre el cauce del río Santa Catarina en la cuenca alta y se localiza en coordenadas UTM Zona 14 E=359569, N=2827313. Las condiciones técnicas que se cumplieron fueron: un gasto de diseño de 5942 m³/s correspondiente a un periodo de retorno de 10,000 años. La cortina es de tipo piramidal con una altura de cimentación de 40 metros y 70 metros de altura de pared o cortina, resultando en su base, 25 metros de ancho y 240 metros en su parte alta o corona. Cuenta con un ducto bajo de 6 x 6 metros que regulan las avenidas de mediana intensidad hasta de 860 m³ por segundo y un vertedor de 60 metros de ancho en su parte alta; con una capacidad de hasta 3,400 m³/s. La cortina rompe picos tiene la capacidad de retener en el vaso hasta 90 Mm³ (figura 2).



Figura 2.- Cortina de la presa para control de avenidas "Rompepicos".

Para simular el funcionamiento de la presa Rompepicos mediante el modelo hidrodinámico en 2D, se elaboró un modelo numérico de altitud (MDE) utilizando una ortofoto digital obtenida con fotografía aérea (figura 3). Se realizó un vuelo en la zona con un VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado) para la toma de fotografías aéreas cubriendo un área de 3.65 km². A partir de las fotos aéreas, se elaboró una ortofoto digital realizando un traslape de fotografías del 65%. El geoposicionamiento de la ortofoto se llevó a cabo mediante la colocación en campo de 10 puntos de control terrestre utilizando un GPS de calidad topográfica. El GPS se ligó a la Red Geodésica Nacional Activa. Posteriormente, a partir de la nube de puntos de la ortofoto digital, se construyó la malla de triángulos del terreno natural de la zona donde se localiza la presa.



Figura 3.- Cortina de la presa para control de avenidas "Rompepicos".

Los hidrogramas utilizados en la simulación, se obtuvieron con el modelo hidrológico semidistribuido HEC-HMS (Scharffenberg, 2016). La figura 4 muestra el hidrograma utilizado en la simulación.

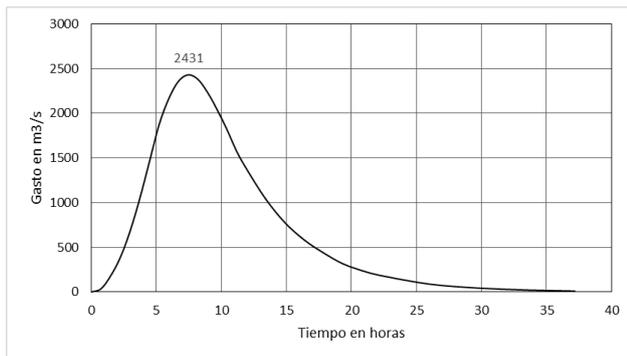


Figura 4.- Hidrograma simulado en HMS para un $T_r=100$ años.

La tabla 1 muestra los gastos máximos simulados en HMS para las lluvias que se presentaron durante el huracán Alex de 2010. El gasto máximo controlado por la presa fue de 1440.2 m³/s y el gasto máximo por el orificio de descarga de 654.9 m³/s.

Tabla 1.- Gastos asociados al huracán Alex.

Gasto máximo	Gasto [m ³ /s]
Entrada en la cortina	1440.2
Salida por el orificio	654.9

Para la simulación bidimensional, se empleó el software Iber (Bladé, *et al.*, 2014), a partir de la ortofoto creada y utilizada como imagen de fondo, se trazó la geometría del modelo mediante líneas para la creación de la maya. Se crearon las superficies NURBS (non-uniform rational B-spline), diferenciando las zonas de inundación, aguas arriba y aguas debajo de la cortina, con base en la cortina de la presa. Posteriormente, se utilizó un tamaño de malla "no estructurada" de 5m para las zonas de inundación y 0.5 m para la zona de la cortina y se generó la malla. Los valores de rugosidad (coeficiente de Mannig) se presentan en la tabla 2.

Tabla 2.- Coeficientes de rugosidad considerados en la simulación.

Zona del modelo	Coefficiente de Manning [adimensional]
Inundación	0.025
Cortina	0.018

Con respecto a los parámetros de la simulación, se emplearon los datos siguientes: instante inicial 0 s, tiempo máximo de simulación 134000 s, intervalo de resultados 2,000 s. Además, se tomó como "Condición Inicial" con cota 0 a todo el modelo. Se asignó la salida del modelo con condición de flujo supercrítico/crítico. Para la condición de entrada se aplicó como entrada caudal total, régimen crítico/subcrítico y se insertó el hidrograma a simular para un período de retorno $T_r=100$ años con un gasto pico de 2431 m³/s. Finalmente, se le asigna a la malla la elevación desde el modelo digital de terreno. Debido a que la presa es de control de avenidas, cuenta con un orificio o ducto bajo en cual se simuló en Iber considerando una alcantarilla en la cortina de tipo rectangular de 6m de ancho por 5m de altura con un coeficiente de rugosidad d 0.011.

Resultados

Los resultados de la simulación hidrodinámica bidimensional con Iber muestran que las velocidades máximas que se pueden presentar a

la salida del ducto bajo (orificio) son de 9.0 m/s. La figura 5 muestra el área de retención, así como los calados asociados a un gasto de 1000 m³/s, se observa que el calado en el paramento vertical (aguas arriba) de la cortina es de 21.2 m y la altura de la cortina es de 58 m hasta el vertedor. El área de retención aguas arriba de la cortina, así como el desfogue por el orificio bajo de la cortina.

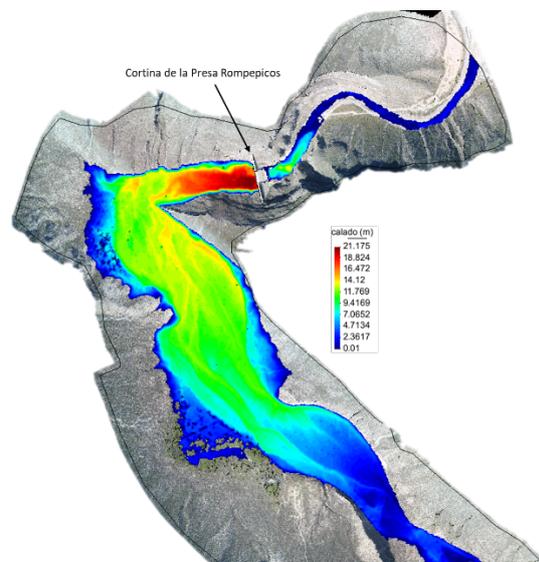


Figura 5.- Calado para un gasto de 1000 m³/s.

Conclusiones

El uso de modelos bidimensionales ayuda a simular eventos de una forma más cercana a la física del fenómeno. El uso de herramientas computacionales como Iber permitió conocer de manera más precisa el comportamiento del flujo ante la presencia de estructuras para control de avenidas como la presa Rompepicos. Además, la toma de fotografías aéreas mediante el uso de Vehículos Aéreos No Tripulados, conocidos como drones, han permitido elaborar modelos de superficie con precisión adecuada para llevar a cabo el presente estudio.

Referencias bibliográficas

- Bladé, E. Cea, L. Corestein, G. Escolano, E. Puertas, J. Vázquez-Cendón, E. Dolz, J. Coll, A. (2014). "Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos", Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, Volume 30, Issue 1, Pages 1-10.
- Ramírez, A.I. y Aldama, A.A. (2001). "Solución analítica aproximada de la ecuación de tránsito de avenidas en vasos". *Ingeniería Hidráulica en México*, IMTA, Vol. XVI, No. 4, octubre-diciembre de 2001, pp. 71-77.
- Scharffenberg, W. (2016). Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual, version 4.2. US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Davis CA, USA.