

Evaluación de Seguridad Hidrológica mediante la Simulación Numérica en IBER del Transito de Embalses de Presas

OMAR SALVADOR AREU RANGEL
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESTANCIA MARZO-JULIO 2016

Transito de embalses

La capacidad de control y drenaje de las obras de excedencia (vertedores, compuertas, canales laterales, etc.) de presas se conoce como seguridad hidrológica.

Si las obras de excedencia no son capaces de drenar el flujo excedente se dice que hay falla hidrológica.

El transito del embalse permite evaluar la seguridad hidrológica mediante la obtención del comportamiento del caudal de salida de un embalse a través de las obras de excedencia.

Metodología

Se realizó la simulación numérica de el tránsito del embalse de la presa La Esperanza (México) mediante un modelo 2D de flujo en lamina libre y se comparo los resultados del hidrograma de salida (de la presa) de la simulación con el hidrograma obtenido con 2 métodos hidrológicos (los cuales solo consideran la ecuación de continuidad en su formulación).

Métodos de tránsito hidrológicos

Aplican un método de solución por diferencias finitas para resolver la ecuación de continuidad.

Método de Piscina nivelada

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - Q(t)$$

donde la entrada es I, la salida Q, el almacenamiento S, tiempo t y la cota de agua es H.

Resuelve la ecuación de continuidad mediante una relación de almacenamiento y caudal de salida en función de la cota de agua.

Método de Runge-Kutta

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - Q(H)$$

Se resuelve igualando la variación del volumen de agua respecto al tiempo con una relación de cota de agua respecto al tiempo.

Área de estudio

Presas La Esperanza

- Mas de 70 años de construida.
- Constituida de enrocamiento con una pantalla de hormigón.
- Altura de cortina de 27 m y 258 m de longitud.
- Azolve del 60% de su capacidad, registrado al 2010.
- Localizada a menos de 5km de 2 centros urbanos.

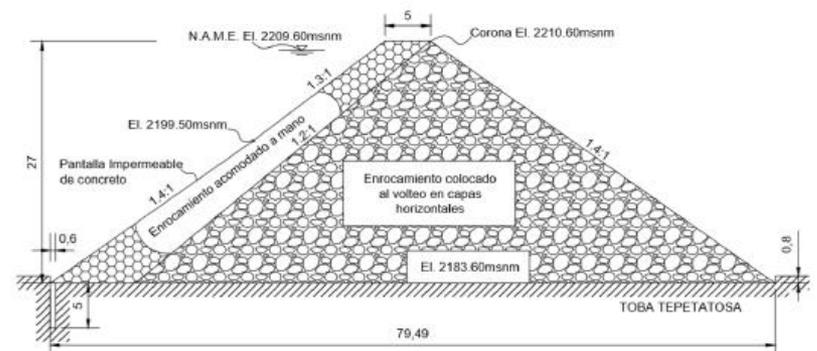


Figura 1: Sección transversal de la cortina de la presa La Esperanza



Figura 2: Embalse de la Presa La Esperanza, localizada en Tulancingo Hidalgo, México

Estimación de escenarios hidrológicos

- El hidrograma de referencia (para obtener los escenarios asociados a los periodos de retorno) fue el hidrograma unitario de la cuenca, obtenido mediante una simulación de lluvia en IBER.
- Se eligieron 8 periodos de retorno para el transito del embalse entre 2 y 500 años.
- La intensidad de los periodos de retorno se calculó mediante Chow y el método de la Soil Conservation Service.



Figura 3: Hidrograma Unitario de la cuenca de la presa La Esperanza

Return period (years)	Intensities for a duration of 5 hours (mm/hr)	1. Precipitations = I*d (mm)	2. Effective rainfall (cm)	3. Peak flow (m3/s)
2	9.26	46.3	1.592367254	160.1355267
5	12.22	61.1	2.668414679	268.3476372
7	13.31	66.55	3.09337831	311.0838683
10	14.46	72.3	3.554553779	357.4617227
12	15.05	75.25	3.795629297	381.705348
15	15.77	78.85	4.093501002	411.6606502
20	16.7	83.5	4.483685482	450.8993354
50	19.66	98.3	5.759456951	579.1965832
100	21.9	109.5	6.752084787	679.0196491
500	27.11	135.55	9.124290843	917.5792309

Figura 3: Calculo del caudal pico para los distintos periodos de retorno

Simulación numérica en IBER del transito del embalse

- La geometría de la presa fue simulada mediante una malla con tamaños de elementos desde 0.8 a 20 m, tomando mayor definición en las obras de excedencia.
- La información de topografía del embalse y geometría de la presa fue proporcionada por la CONAGUA (México).
- La condición inicial de la presa indica que se encuentra llena al momento de la entrada de escurrimiento al embalse.
- Las condiciones de entrada corresponden al escurrimiento superficial definido por el hidrograma de cada periodo de retorno.

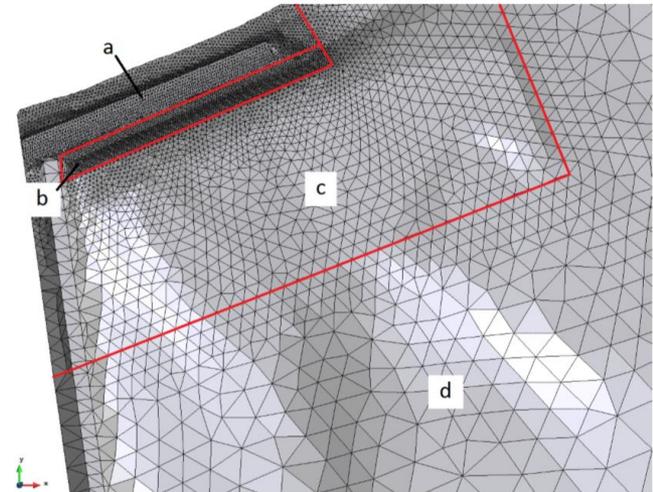


Figura 6: Mallado de la Presa La Esperanza

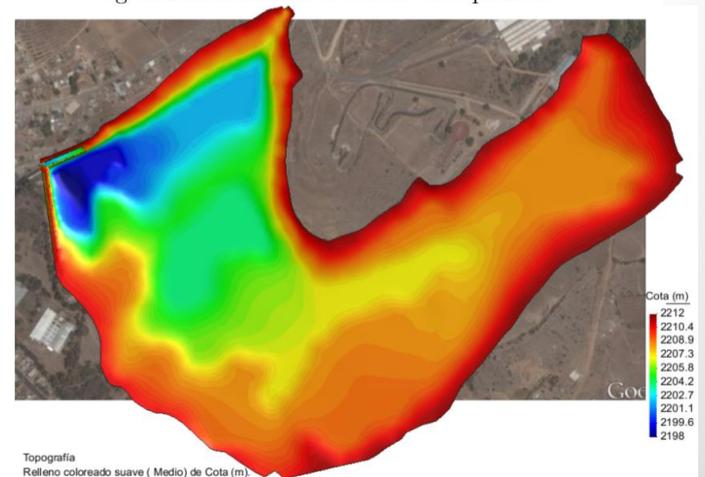
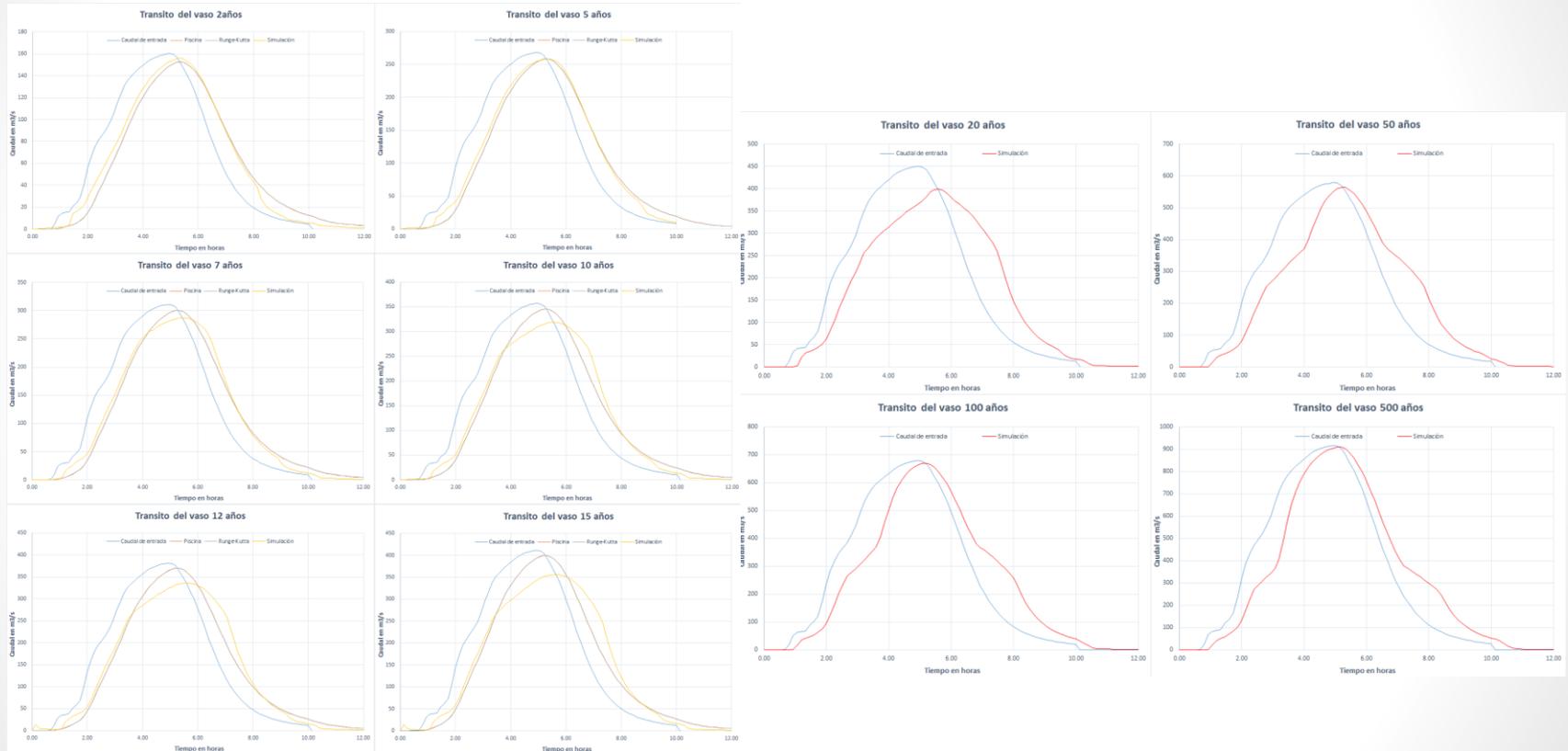


Figura 7: Batimetría del embalse de la Presa La Esperanza

Resultados



Transito del vaso para los periodos de retorno de 2, 5, 7, 10, 12 y 15 años.

Transito del vaso para los periodos de retorno de 20, 50, 100 y 500 años, donde ocurre desbordamiento

Ahogamiento de salida del vertedor

Al aumentar el caudal que sale por el canal lateral aumenta también la cota de agua en el canal, hasta que este nivel llega a la cota de agua del embalse, produciendo el ahogamiento de la salida de caudal del vertedor al canal.

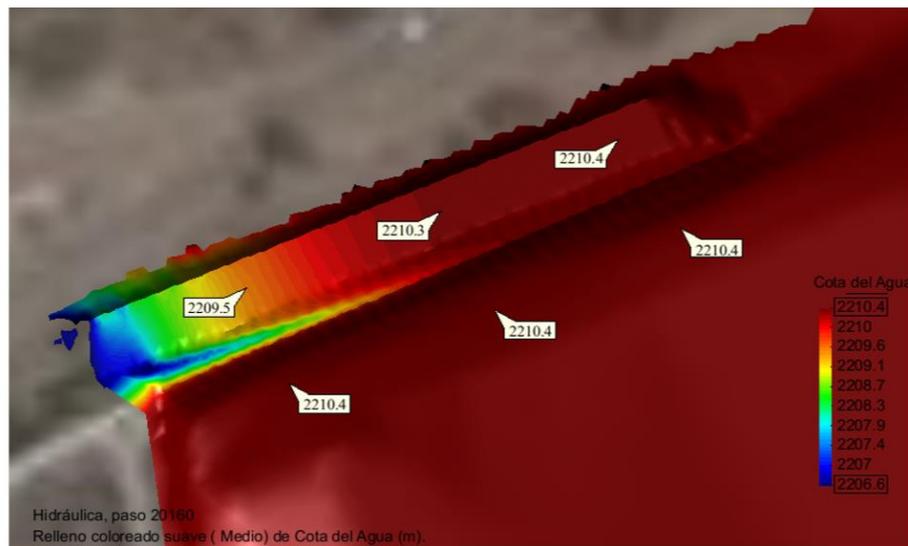


Figura 12: Cota de agua al tiempo de máximo caudal de salida, en metros sobre el nivel del mar, para el periodo de retorno de 15 años

Desbordamiento

El ahogamiento de la salida del vertedor al canal lateral produce una acumulación de agua en el embalse, hasta que el nivel de agua alcanza y supera la cota de la cortina, ocurriendo el vertido por la cortina (fenómeno conocido como desbordamiento).

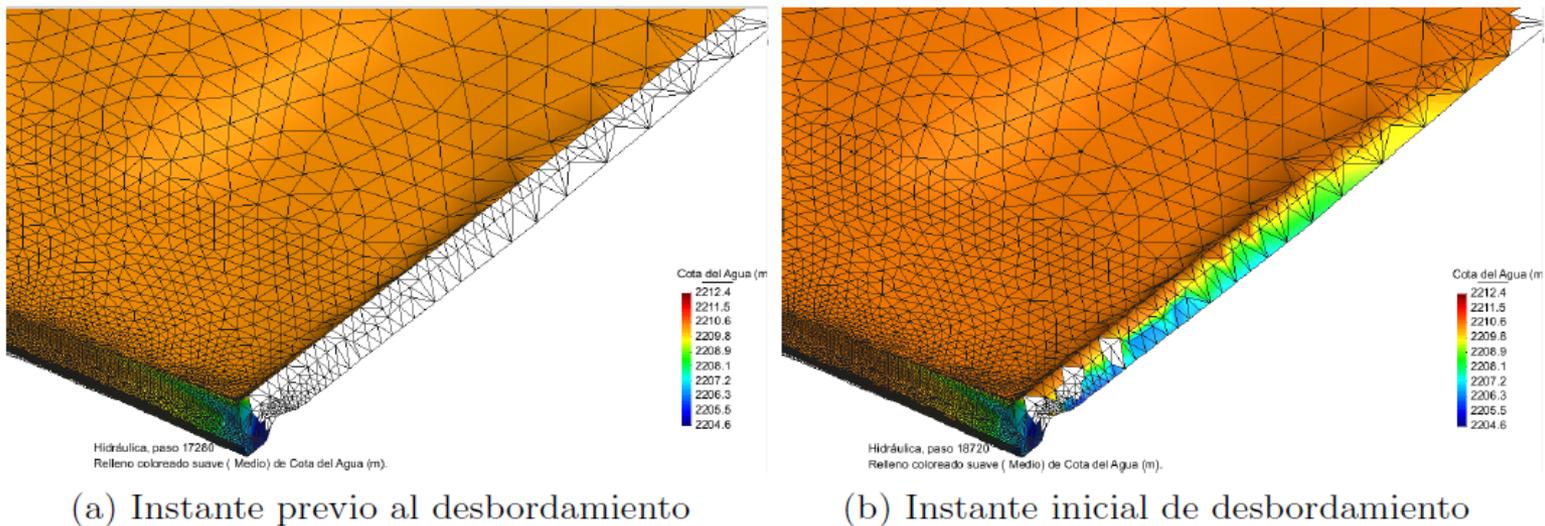


Figura 13: Desbordamiento de la presa, periodo de retorno de 20 años. Valores coloreados de cota de agua.

Resultados

Los resultados muestran tres secciones.

La primer sección abarca los periodos de retorno que los métodos hidrológicos permiten representar correctamente el caudal de salida de un vertedor.

La segunda sección contempla los periodos de retorno que se presenta la contracción del flujo de salida del vertedor al canal lateral, pero sin existir desbordamiento, en esta se muestra que de acuerdo a los métodos hidrológicos el vertedor tiene mas capacidad hidráulica de la que en verdad tiene (capacidad calculada mediante la simulación).

La ultima sección corresponde a los periodos de retorno para los cuales la capacidad hidráulica de las obras de excedencia es insuficiente y se produce desbordamiento (flujo de agua por sobre la cortina), en estos casos no se grafico la solución por los métodos hidrológicos debido a que el método hidrológico solo toma en cuenta el flujo por el vertedor.

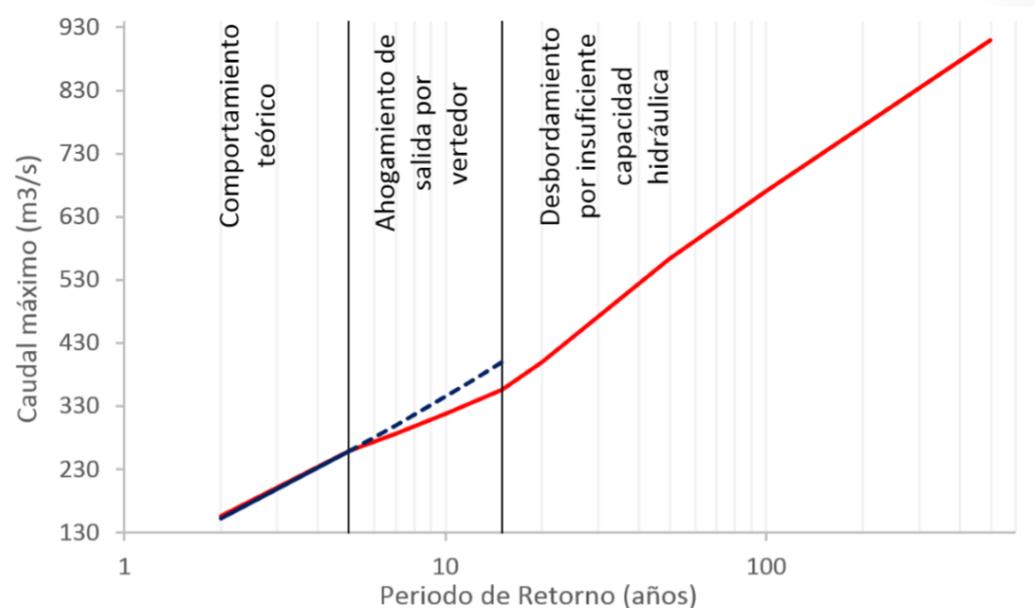


Figura 14: Caudal máximo de acuerdo al periodo de retorno. Rojo representa la simulación y azul la solución por los métodos hidrológicos.

Conclusiones

- La presa no tiene la capacidad hidráulica de drenar la avenida de diseño correspondiente al periodo de retorno de 500 años (recomendado por la CONAGUA-México y el Ministerio del Medio Ambiente-España), se concluye que la presa se encuentra bajo riesgo hidrológico.
- La simulación numérica del transito del embalse es capaz de calcular los hidrogramas de salida y obtener resultados muy aproximados a los métodos hidrológicos.
- Sin embargo en la simulación numérica hay condiciones y variables que los métodos hidrológicos no contemplan en su formulación, destacando la aplicación de la modelación numérica como una aproximación mas cercana a la realidad.
- El desbordamiento es el origen de falla mas común en presas de tierra y enrocamiento. En México se tiene el registro que el 58% de las presas es de este tipo (Arreguín, 2013). Esto hace extrapolable la metodología presentada, no solo para la revisión de seguridad hidrológica, sino también en el diseño previo a la construcción de nuevas presas.

Referencias

- Areu-Rangel, O. S., Tolentino, D., Mendóza-Sánchez, I., Alvarado-Rodríguez, C. E., Klapp, J., & Bonasia, R. (2015). Numerical Simulations of a Dam Overwing. Case Study: La Esperanza Dam in Hidalgo, México. Implications for Risk Evaluation, In International Conference on Supercomputing (pp. 285-295). Springer International Publishing.
- Arregín-Cortés, F. I., Murillo-Fernández, R., & Marengo-Mogollón, H. (2013). Inventario nacional de presas, Tecnología y ciencias del agua, 4(4), 179-185.
- Ramírez Orozco, A. I. (2011). La seguridad de presas desde la perspectiva hidrológica: Conferencia Enzo Levi 2010, Tecnología y ciencias del agua, 2(2), 157-173.
- Aldama, A., Aparicio, J., Ramírez, A., Meja, R., Santillán, O., López, J. & Gómez, J. F. (2005). Seguridad hidrológica de 16 presas en México, Anuario 2005 IMTA.
- Ramírez Orozco, A. I., & Aldama Rodríguez, A. A. (2001). Solución analítica aproximada de la ecuación de transito de avenidas en vasos., Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Ingeniería Hidráulica en México vol. XVI, num. 4, pp. 71-77.
- Arreguín-Cortés, F.I. (2000). Obras de Excedencia, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.
- Chow, V. T., Maidment, D. R. Mays, L.W. (1988). Applied Hydrology, McGraw-Hill Series in Water Resources & Environmental Engineering.
- Marengo, H. (1994). Análisis de Riesgo de Falla en Presas de Tierra y Enrocamiento ante Avenidas. Doctoral Tesis, Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
- Sotelo Ávila, G. (1991). Hidráulica general; fundamentos., Limusa.
- Chen, C.I. (1983). Rainfall Intensity-Duration-Frequency formulas, J. Hydraul. Eng., 109(12), 1603-1621.
- Domínguez, R., Fuentes, O. y Franco, V. (1980). Manual de Diseño de Obras Civiles. Hidrotecnia, Capítulo. A.1.10. Avenidas de Diseño. México, D.F: Comisión Federal de Electricidad.
- Mokus V. (1957). Use of storm and watershed characteristics in synthetic unit hydrograph analysis and application, U.S. Soil Conservation Service.
- Sherman, L. K. (1932). Streamflow from Rainfall by the Unit Graph Method, Eng. News Rec., vol. 108, 501-16