

# Simulación de rotura de presas aterradas con fondo móvil. Caso de estudio

Sanz-Ramos, M.<sup>a1</sup>, Olivares, G.<sup>a2</sup> y Bladé, E.<sup>a3</sup>

<sup>a1</sup>Institut Flumen (UPC-CIMNE), Universitat Politècnica de Catalunya – BarcelonaTech. Campus Nord.  
E-mail: <sup>a1</sup>marcos.sanz-ramos@upc.edu, <sup>a2</sup>gonzalo.olivares@upc.edu, <sup>a3</sup>ernest.blade@upc.edu.

Línea temática | A. Dinámica fluvial, de embalses, estuarios y humedales

---

## RESUMEN

### Casuística

Las inundaciones fluviales son fenómenos naturales que causan graves daños económicos, ambientales y sociales (pérdida de vidas humanas). La sensibilidad de la población frente a eventos que potencialmente puedan ocasionar riesgo es muy diversa, dependen en gran medida del tipo de riesgo y de su percepción a la exposición al mismo.

La construcción de presas ha servido, entre otros aspectos, para reducir directamente los riesgos asociados a inundaciones fluviales (laminación de avenidas). Sin embargo, el propio elemento (presa) provoca *per se* un incremento en la percepción de la exposición al riesgo frente a una posible rotura.

La evaluación del riesgo potencial de inundación frente a un eventual fallo del cuerpo de presa (rotura) puede realizarse de múltiples maneras. En España los propietarios de presas y balsas de más de 5 metros de altura o más de 100.000 m<sup>3</sup> de volumen están obligados a realizar su clasificación en función del riesgo potencial. Para su consecución se desarrollaron dos documentos: el “*Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses*” y la “*Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones*”. Ambos son de carácter descriptivo y general, de modo que fue necesaria su transcripción a un documento más pragmático: la “*Guía Técnica para la Clasificación de presas en función del riesgo potencial*”, en adelante Guía Técnica.

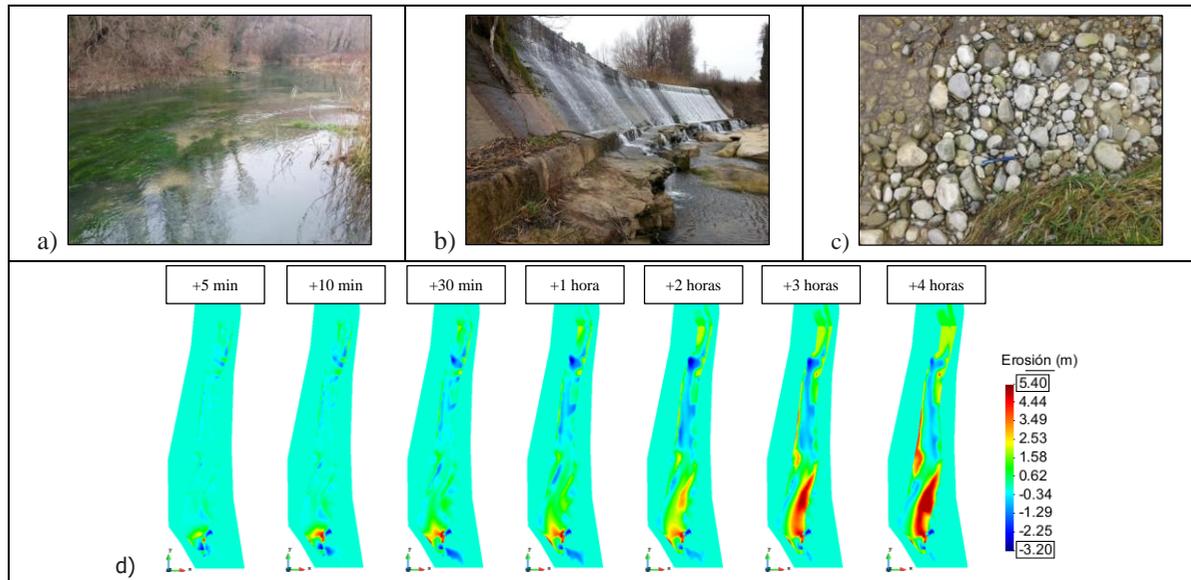
La Guía Técnica abarca el análisis de diferentes tipologías de presas y balsas (gravedad, contrafuertes, bóveda y materiales sueltos). Para cada una de ellas describe el tipo de rotura y características de la brecha. Las dimensiones de ésta sirven para definir el hidrograma tras la rotura, ya sea de manera teórica (para alimentar modelos numéricos o conceptuales) o directamente a través de modelos numéricos. El marco normativo deja cierta libertad para adaptar la metodología a cada caso de estudio, siempre que sea debidamente justificado (apartado 1, Capítulo III).

La ubicación de las presas en cauces de ríos interrumpe la dinámica sedimentaria de la cuenca, generando sedimentación en el vaso del reservorio. En función de los procesos erosivos de la cuenca, y de los años transcurridos desde su construcción, el nivel de sedimentos puede llegar a aterrizar parcial o completamente el embalse. Se plantea entonces la disyuntiva de cómo afrontar el análisis de rotura de presa: estado “inicial” o “actual”. Y, en caso de afrontarlo en la situación “actual”, cabe la posibilidad de que parte de los sedimentos depositados se movilicen tras la rotura (fondo móvil).

Es por todo ello que a continuación se presenta una nueva metodología, y su aplicación, para afrontar estudios de clasificación de presas de gravedad con aterramiento. Se ha aplicado esta metodología a un caso de estudio en una pequeña presa (5,25 m de altura) situada en la cuenca alta del río Llobregat (Gironella, Cataluña). En esta presa, del s. XIX, se han almacenado sedimentos hasta alcanzar un nivel de aterramiento superior al 75 % de su capacidad original. Puesto que los caudales de diseño son elevados, presumiblemente se producirá movilización del sedimento de fondo.

## Caso de estudio

La presa, de hormigón y planta curva, presenta un único cuerpo de desagüe en la parte central (Fig. 1.b). Antiguamente daba servicio a una pequeña colonia industrial situada pocos metros aguas abajo en la margen derecha del río y en la actualidad sirve a una mini-central hidroeléctrica.



**Figura 1** | Detalle del estado actual de la presa: a) aterramiento producido aguas arriba; b) descalce del pie de presa aguas abajo; c) tamaño de partícula aguas abajo de la presa (sedimento grueso). d) Evolución de la cota de fondo durante las 4 primeras horas de simulación.

La metodología propuesta se basa en lo descrito en el apartado 5.1 de la Guía Técnica (Método completo). Esta metodología contempla el estudio por separado: análisis de rotura para la obtención del hidrograma y posterior estudio hidráulico (modelización numérica). Para la obtención del hidrograma de salida se optó por considerar la situación actual (presa con aterramiento) y fondo móvil tras rotura. De modo que se realizó un estudio agregado de formación de brecha y transporte de sedimentos (fondo móvil). A tal fin se empleó el modelo matemático Iber (Bladé et al., 2014). Posteriormente el hidrograma obtenido alimentó a un modelo unidimensional para realizar el estudio hidráulico de clasificación de presa.

Con el modelo hidráulico bidimensional funcionando en régimen permanente, correspondiente a la avenida de 500 años de periodo de retorno, se formó la brecha según lo descrito en la Guía Técnica y se activó el módulo de transporte de sedimentos de Iber. Se empleó la formulación de Meyer-Peter & Müller (1948), con valores típicos de gravas ( $D_{50}$  de 0,03 m, porosidad de 0,4 y ángulo de fricción interna de 0,55).

Tras la rotura, los sedimentos se desplazaron ofreciendo una mayor capacidad de almacenaje de agua (Fig. 1.d). Esto provocó que el hidrograma de salida se incrementara, tanto en volumen total como en caudal punta. Comparándolo con un análisis clásico (situación original y fondo fijo), el hidrograma de salida fue 5 veces superior con la metodología propuesta.

## REFERENCIAS

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, 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*, CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya), 30(1), 1–10.

Meyer-Peter, E. y Müller, R. 1948. Formulas for bedload transport. *Proceedings of the 2nd Congress, IAHR*, Stockholm, pp.39-64.