

Planteamiento de modelos de riesgo aplicables durante la fase de proyecto de presas

J.D. Rosales

INCLAM S.A., España

I. Escuder-Bueno

Universitat Politècnica de Valencia, España

A. Serrano-Lombillo

iPresas S.L., España

ABSTRACT: The conceptual basis for a risk analysis modeling methodology during a dam project phase, is, in principle, based on the study of the preceding risk due to natural phenomena, as a baseline for comparison with the risk analysis induced by the construction of the dam. On the other hand, the risk model must take into account the spread of the uncertainty associated with the probabilistic estimations, and changes the project can experience during the construction phase. The evolution of the risk through the different stages of construction is considered as well. Finally, the risk model applied at this stage must be able to be updated during the execution of the works, evaluating the influence of any project changes, on the final risk assessment. This research takes place in parallel with the development of the Curia's River Dam in Venezuela.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Preámbulo*

La formulación de modelos de riesgo para presas tiene entre sus orígenes, la necesidad de valorar comparativamente, en términos de coste—beneficio, la efectividad una medida u otra de mitigación de pérdidas de vidas humanas y daños económicos, por causa de fallos de presas, particularmente en el marco de una gestión de riesgos de un portafolio de presas. Los modelos de riesgo en presas tradicionalmente han sido aplicados a presas o grupos de presas en fase de explotación.

En el presente artículo se propone la utilización de modelos de riesgo en la fase de diseño de presas. La propuesta de incorporar el modelo de riesgo a la etapa de diseño de la presa es novedosa porque entre otras cosas plantea solapes entre la adopción de criterios de diseño claramente definidos dentro de las normativas vigentes para diseño de presas, y la estimación de riesgos a través de modelos numéricos. Estos solapes no deben suponer en ningún caso contradicciones, por el contrario enriquecen el proceso de diseño incorporando diferentes aproximaciones al tema de fondo que es siempre el mismo: la seguridad.

1.2 *Definiciones de riesgo*

El riesgo es la combinación de tres conceptos: qué puede pasar, cómo de probable es que pase y cuáles son sus consecuencias (Kaplan, 1997). En el caso del análisis de riesgos en seguridad de presas, es habitual estudiar los riesgos incrementales asociados a la rotura de la presa. En este contexto, la palabra incremental se refiere a la diferencia entre las consecuencias que se producirían debido a una rotura de presa y las consecuencias que se producirían si la presa

no se rompiese bajo las mismas cargas (por ejemplo, bajo la misma avenida). De esta forma, sólo se computan los riesgos que se deben exclusivamente a la rotura de la presa. En general, los criterios internacionales de tolerabilidad de riesgo descansan sobre el concepto de riesgo incremental así definido.

El anterior enfoque está encaminado a evaluar la seguridad de la presa, sin embargo, de cara a la población aguas abajo de la presa, tan importante es estudiar los riesgos asociados a su rotura como lo es estudiar el riesgo de inundación en casos de no rotura (Escuder et al., 2010). Así cuando se estudia el riesgo aguas abajo de rotura y de no rotura se está estudiando el riesgo total.

Todo lo anterior es aplicable a presas en explotación y en las cuales se puede medir la probabilidad de ocurrencia de daños (con y sin rotura de la misma), y la magnitud de dichos daños. En la etapa de proyecto de la presa, por otra parte, resulta necesario evaluar adicionalmente la distribución del riesgo en la situación precedente a la construcción de la presa.

Utilizando una representación de tipo F-N en la cual se grafica en un eje las consecuencias, en este caso medidas en pérdida potencial de vidas debido a la inundación (N), y en el otro la probabilidad de pérdidas potenciales mayores que N (F), se puede representar de manera conjunta el riesgo total de la situación anterior y posterior a la construcción de la presa.

Puede observarse en la Figura 1, adaptada del proyecto SUFRI (Escuder et al., 2010), que el efecto laminador del embalse conlleva una reducción de la estimación del riesgo de pérdida de vidas humanas ya que se mitigan los caudales punta de las crecientes que de otra manera (sin el embalse), hubieran causado mayores pérdidas a paridad de probabilidad de ocurrencia de allí, la diferencia entre las dos curvas medida horizontalmente, representa las vidas potencialmente salvadas por la presa. Sin embargo una vez que se dan las condiciones de rotura de la presa, se libera un caudal superior al correspondiente a esa frecuencia de evento en condiciones naturales, de ahí la diferencia entre las dos curvas pasa a representar las pérdidas incrementales derivadas del fallo de la presa.

Como puede observarse, la construcción de una presa, modifica la distribución del riesgo total, siendo el caso que brinda un grado de protección importante para los eventos de mayor frecuencia y sólo en caso de producirse una rotura, podría implicar la ocurrencia de pérdidas superiores a la situación precedente, sin embargo, estos eventos de rotura están asociados a probabilidades muy reducidas, de allí parten los conceptos de tolerabilidad del riesgo.

1.3 Tolerabilidad

Los modelos de riesgo en presas pueden estimar con mayor o menor precisión la probabilidad de ocurrencia de daños relacionados con las presas y la magnitud de los mismos, pero es trabajo de la sociedad en su conjunto, tomar la decisión sobre qué nivel de riesgo está dispuesta a asumir en virtud de los beneficios que de estas obras obtiene.

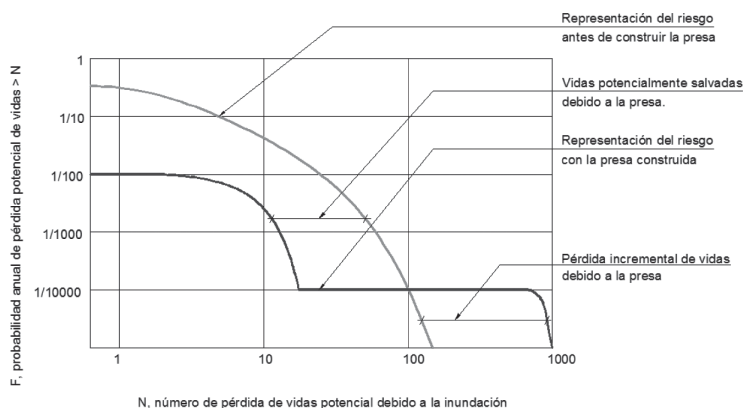


Figura 1. Representación F-N del riesgo precedente y posterior a la construcción de la presa.

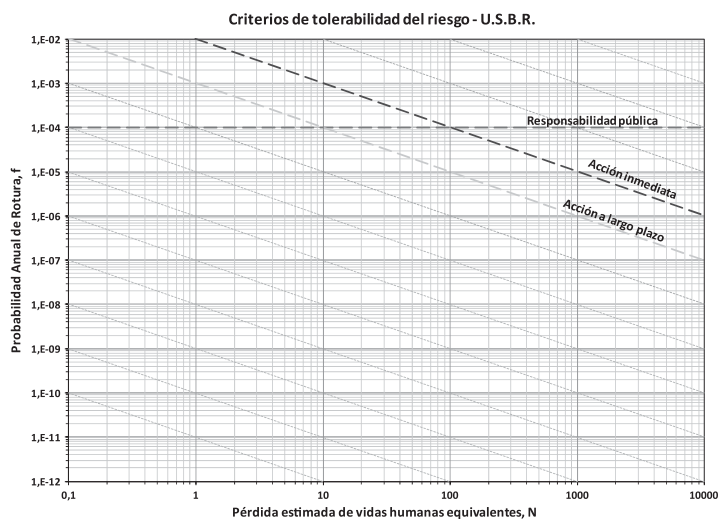


Figura 2. Representación f-N Criterios de tolerabilidad USBR.

Para ello, diferentes organizaciones han acordado límites de tolerabilidad, que conceptualmente, limitan el riesgo entre términos de probabilidad y daños o pérdidas potenciales, como regla general, se toleran pérdidas menores para probabilidades mayores y viceversa. Los límites están afinados en base a parámetros estadísticos y culturales asociados con la sociedad dentro de la cual se adscribe la organización. Como ejemplo, en la Figura 2, se muestra una gráfica del tipo f-N, elaborada por el USBR, traducida y adaptada (Serrano 2010), en la cual se observan estos límites.

Se observa que las líneas inclinadas en esta representación equivalen a situaciones de riesgo equivalente, ya que la combinación de probabilidad de rotura (f), y Pérdida estimada de vidas (N) es constante a lo largo de dicha línea.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Modelos de riesgo en presas en fase de explotación

El estado del conocimiento en esta materia ha evolucionado notablemente contándose hoy día con metodologías precisas para la definición de modelos de riesgo en presas incorporando análisis numéricos que integran entre otros aspectos las distribuciones de probabilidades de aparición de determinados escenarios de solicitaciones, formulación de modos de fallo e incorporación del criterio experto a las premisas de cálculo y la valoración de los daños incrementales aguas abajo en términos de vidas humanas y daños económicos.

El estado actual del arte en modelos de riesgo incluye entre otros desarrollos: estimación de riesgos para portafolios de presas (Bowles, 2001), análisis de seguridad de presas basados en el riesgo (Escuder et al., 2009), herramientas numéricas para modelos de riesgos (Serrano, 2010), análisis de riesgo conjunto para sistemas de presas (Serrano-Lombillo et al., 2011), etc. El notable estado de avance en materia de estimación de riesgos permite al día de hoy, informar suficientemente bien sobre el estado de las presas en términos de probabilidades de ocurrencia de daños asociados o no a eventos de rotura.

2.2 Modelos de riesgo para presas en etapa de construcción

Las técnicas de modelación de riesgos han sido aplicadas recientemente a presas en fase de construcción, como es el caso de la presa de Castrovido (Sanz et al., 2009), con las ventajas de incorporar al modelo de riesgo la importante cantidad de información que se recaba en la

fase de construcción, evaluar actuaciones en beneficio de la seguridad y estudiar el impacto en términos de riesgo de las estrategias de explotación.

2.3 Modelos de riesgo de inundación

El riesgo asociado a la ocurrencia de inundaciones por sí mismas y con la presencia de estructuras de regulación como presas, ha sido estudiado en el proyecto SUFRI (Escuder et al., 2010), definiéndose el impacto de la caracterización de los riesgos totales dentro de la planificación de zonas urbanas.

3 FORMULACIÓN DEL MODELO DE RIESGOS EN FASE DE PROYECTO

Por desarrollarse durante la etapa de proyecto, esta metodología puede contemplar la posibilidad de realizar un proceso iterativo en el cual puedan ser identificados aquellos aspectos de diseño que tengan mayor incidencia dentro de la estimación global del riesgo de fallo de la presa, permitiendo así que a través de un proceso iterativo estos factores críticos de diseño puedan ser corregidos mejorando la estimación del riesgo y en consecuencia optimizando el diseño en términos de seguridad.

3.1 Esquema general de la metodología

A grandes rasgos, la metodología comprenderá en principio la comparación riesgo total del caso antes de la construcción de la presa, y la condición posterior a esta para evaluar cómo se modifica la estimación del riesgo.

Posteriormente efectuar un análisis convencional del riesgo en la hipótesis de la presa construida según las prescripciones del proyecto comparando las situaciones de rotura y no rotura de la presa dentro de los diferentes escenarios de sollicitación y comparándolo con los criterios de tolerabilidad internacionales.

Adicionalmente realizar un estudio de la variación del riesgo durante las diferentes etapas de la construcción y durante la operación de la obra. El modelo de riesgo que se elabore en esta etapa debe estar diseñado de tal manera que pueda ser actualizado y verificado periódicamente durante la fase de construcción de la presa, de manera tal que se pueda tener en cuenta la evolución de los factores críticos y la incidencia de los cambios al proyecto original sobre la estimación final del riesgo para la presa en su escenario de operación.

3.2 Modos de fallo y factores críticos

La metodología empleada para la formulación de modos de fallo ampliamente expuesta en otros trabajos establece una serie de pautas o pasos a seguir para la confección de un conjunto de modos de fallo coherentes con las singularidades del proyecto de presa, y analizables dentro de un espectro de escenarios de sollicitación, pudiéndose realizar sobre la base de estos, un análisis numérico posterior que concluirá la estimación de las probabilidades de fallo de acuerdo a cada uno de estos modos de fallo.

Cada evento, de cada árbol de fallo posee una propia e independiente distribución de probabilidades de ocurrir. En la valoración de estas probabilidades interviene usualmente la formulación de factores a favor y factores en contra para la ocurrencia del evento en particular.

Tratándose de una etapa de diseño, lo fundamental es identificar cuáles son los principales factores que favorecen el desencadenamiento de modos de fallo con la finalidad de aislarlos y realizar un análisis de sensibilidad de la estimación del riesgo con respecto de dichos factores.

Una vez identificados estos factores críticos se puede realizar una discusión técnica dentro del equipo proyectista en la búsqueda de soluciones de diseño que tiendan a disminuir las probabilidades de rotura asociadas a cada aspecto en particular, de esta manera se da inicio

a un procedimiento iterativo que es de esperarse que termine por optimizar el diseño en términos de reducción de riesgos.

3.3 *Riesgo inherente a las hipótesis de diseño*

El proceso de diseño de una presa implica la adopción de una serie de hipótesis de diseño o situaciones de cálculo recogidas en normativas, guías técnicas y recomendaciones de uso corriente en la práctica de la ingeniería. Estas hipótesis por lo general consisten en la formulación de una combinación de escenarios de carga del sistema sin valorar en cada caso la probabilidad de aparición del escenario en sí, mas sin embargo admitiendo factores de seguridad menos exigentes en aquellas situaciones que anticipadamente se pueden catalogar como menos plausibles.

Se busca poder valorar cuál es el riesgo que se asume al elaborar el diseño de una estructura basándose en hipótesis pre-establecidas en las normativas. Podrían plantearse interrogantes de este tipo: ¿Qué probabilidad de ocurrencia tiene un determinado escenario de sollicitación para comprobaciones estáticas? o ¿Cómo se modifica la estimación del riesgo en función del dimensionamiento de los órganos de desagüe y aliviaderos?, entre otras.

3.4 *Evolución del riesgo durante las etapas de proyecto*

El estudio de la evolución del riesgo en las distintas etapas de proyecto persigue determinar anticipadamente si alguna fase de la construcción o de la futura explotación de la presa, es susceptible de acarrear niveles de riesgo o tolerables, pudiéndose tomar medidas correctivas durante la fase de proyecto, con la consiguiente disminución de coste con respecto a actuaciones *a posteriori*.

4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

La incorporación del estado actual del conocimiento en análisis de riesgos a la fase de proyecto persigue avances en áreas como:

- Establecimiento de pautas para la toma de decisiones de diseño basadas en el análisis de riesgo.
- Optimización del diseño de la presa.
- Establecimiento de las implicaciones en términos de riesgo de la adopción de factores de seguridad en la etapa de diseño, estableciendo correlaciones entre dichos factores de seguridad y la probabilidad de fallo asociada.
- Evaluación y seguimiento de la evolución del riesgo durante las distintas fases de construcción y explotación.
- Ajuste del diseño del sistema de auscultación de la presa forma vinculada a los modos de fallo de mayor probabilidad de ocurrencia.
- Actualización del modelo de riesgo incorporando cambios hechos al proyecto original.
- Actualización del modelo de riesgo incorporando información proveniente de la etapa de construcción de la presa.
- Optimización de las normas de operación del embalse.

5 CASO DE ESTUDIO

En la actualidad uno de los autores de este artículo, está desarrollando esta metodología en correspondencia con la coordinación del proyecto de ingeniería de detalle de la Presa sobre el río Cuira en Venezuela, este desarrollo conjunto permite tener en cuenta las singularidades de un proyecto de esta naturaleza incorporándolas a los análisis de riesgos, redundando en un beneficio para la optimización de los diseños definitivos.

6 CONCLUSIONES

Esta metodología de estimación de riesgos en etapa de proyecto permitirá anticiparse al riesgo que se pueda esperar en la etapa de explotación de la presa, pudiendo vincularse a una definición más ajustada del sistema de auscultación y pudiendo estar estrechamente vinculado a los modos de fallo formulados considerados.

Por otra parte este análisis en etapa de proyecto contribuye a la confección de unas normas de explotación y planes de emergencias más efectivos.

El planteamiento metodológico es coherente con los modelos de riesgo en presas usados en la actualidad y se estima que la comparación adicional de los escenarios de riesgo precedentes a la construcción brindará una línea base para la determinación más precisa de los riesgos incrementales debidos al proyecto.

La posibilidad de desarrollar esta metodología en paralelo con la realización de un proyecto de una gran presa brinda un enfoque realista de las necesidades de proyecto y orienta la vinculación de dicho modelo a efectos prácticos.

REFERENCIAS

- Escuder-Bueno, Ignacio; Morales-Torres, Adrián & Perales-Momparler, Sara. Urban flood risk characterization as a tool for planning and managing (pags. 147–161). Institute for Water Resources. Report 10-R-8, Washington, 2010.
- Kaplan, Stan. The words of risk analysis. *Risk Analysis*, 1997.
- Sanz, Daniel; Bernabé, Juan Carlos & Escuder, Ignacio. Confección de un modelo de riesgo para la presa de Castrovido. IX Jornadas Españolas de Presas, Valladolid 2010.
- Serrano, Armando. Desarrollo de una herramienta completa de análisis y evaluación de riesgos en seguridad de presas. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, 2010.
- Serrano-Lombillo, A; Escuder-Bueno, I; de Membrillera-Ortuño, M.G. & Altarejos-García, L. (2011). Methodology for the Calculation of Annualized Incremental Risks in Systems of Dams. *Risk Analysis*, 31: 1000-1015. doi: 10.1111/j.1539-6924.2010.01547.x
- Silva, Francisco; Lambe, William & Marr, Allen. Probability and Risk of Slope Failure. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE*, 2008.