

Análisis y evaluación de riesgos a la seguridad de fallas de presas en la Cordillera Blanca, Áncash: aplicación a la construcción de una presa en la quebrada Cojup

Analysis and assessment of security risks of dam failures in the Cordillera Blanca, Ancash: Application to the construction of a dam in the creek Cojup

REYNALDO REYES ROQUE¹

RESUMEN

La construcción de una presa en la quebrada Cojup tiene importancia estratégica para el abastecimiento futuro de agua potable para la ciudad de Huaraz; sería una infraestructura vital y crítica, ya que una eventual rotura y falla de la presa, ocasionaría severas pérdidas de vidas humanas además de económicas y medioambientales. El objetivo principal de esta investigación ha sido realizar el análisis y la evaluación de riesgos a la seguridad en fallas de presas. La metodología utilizada consistió en aplicar los principales criterios de tolerabilidad de riesgos existentes a nivel internacional, en los que se combina la probabilidad de ocurrencia de eventos indeseados y sus consecuencias asociadas. Resulta de los criterios de tolerabilidad de la USBR, del ANCOLD y del USA-CE, que el riesgo está por encima del límite tolerable y está por encima del límite de riesgo social tolerable, por lo que se concluye de esta investigación que el riesgo es alto.

Palabras clave: análisis y evaluación de riesgos; presas; seguridad; fallas; tolerabilidad.

ABSTRACT

The construction of a dam in the creek Cojup has strategic importance for the future supply of drinking water for Huaraz City, being a vital and critical infrastructure since any possible breakage and failure of the dam, would cause severe loss of life as well as economic and environmental. The main objective of this research has been to perform the analysis and the assessment of risks to the safety of dam failures, being the methodology used to apply the main criteria of tolerability of risks existing at the international level, which combines the probability of occurrence of undesirable events and their associated consequences. Resulting from the criteria of tolerability of USBR, the ANCOLD and USACE, the risk above the tolerable limit and above the limit of tolerable risk, so it is concluded from this research that the risk is high.

Keywords: analysis and risk assessment; dams; security; failures; tolerability.

¹ Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú.

ICHIKLLACHAW

Quhup raqrachaw qucha pirqapa rurayninqa allaapa allim shamuq patsachaw kanqa, Waras markachaw taakuqkuna yakunkuna kayaapunanpaq, kay rurayqa allaapa allim kanqa, imayllapis kay qucha wanqaramuptinqa itsa atska runatachi wañutsinman hinamanpis waktayaatsinmanchi, mama patsantsiktapis qishyatsinmanchi. Tsayraykurmi kay musyapakuyqa tsay raqrachaw qucha mana alli pirqan kanqanpaqmi rurakashqa. Tsaypaqmi llapan hatun suyu markakunapa mantsaynin kanqan kaayininta wanakashqa, kaypaqqa mituduluhiya nishqanwanmi rurakashqa. Kaychawqa mana munakanqan llakikuy kanqankunawanmi takukan. USBRpa ANCOLDpa USACEpa hananpam kay mantsakay mana alli kaayin nin kaykan, tsayraykurmi kay musyapakuychawqa allaapa rarachawmi llakikuynin, mantsakayninqa kaykan.

Pushaq shimikuna: mantsakaypa analisiswan chanintsaynin, raqrachaw quchapa pirqan, allikaynin, mana alli kaynin, kaayin nin.

INTRODUCCIÓN

El presente artículo describe la aplicación de la metodología de análisis y evaluación de riesgos a la falla de presas, ya que en los últimos años se ha materializado en el panorama internacional un acercamiento de investigación en el campo de la seguridad de presas hacia las metodologías basadas en riego, en las que se combina la probabilidad de ocurrencia de eventos indeseados y sus consecuencias asociadas. Los criterios de tolerabilidad internacionales, evalúan los criterios de tolerabilidad de riesgo, donde se mezcla factores como la protección pública, la imagen del responsable de las presas o valoraciones económicas. Como antecedentes para esta investigación se ha utilizado las metodologías más empleadas actualmente, que son las propuestas por el USBR United States Bureau of Reclamation (Departamento de Reclamación de Estados Unidos, , 2003), el ANCOLD Australian National Comitee on Large Dams (Comité Nacional Australiano de Grandes Presas, 2003) y el USACE United States Corps of Engineers (Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, 2009).

Se justifica la investigación, ya que en el Perú y en especial en la Cordillera Blanca, ubicada en la Región Ancash, se aprecia una zona de nuestro país que posee abundantes recursos hídricos y presenta modesta cantidad de infraestructuras de regulación; se plantea el proyecto de construcción de una gran presa para el abastecimiento futuro de agua potable para la ciudad de Huaraz. Hoy en día no existe un marco legislativo y técnico que sirva de referencia para la gestión de la seguridad de las presas en el Perú, y recientemente han ocurrido roturas y fallas de presas en el país y en el mundo, producto de eventos hidrometeorológicos extraordinarios, fallas de proceso constructivo, de diseño hidráulico, geotécnico y estructural; por lo que se ha propuesto como objetivo principal de esta investigación el de realizar el análisis y la evaluación de riesgos a la seguridad en fallas de presas en la Cordillera Blanca, aplicado al proyecto de construcción de una presa en la quebrada Cojup, considerando para la evaluación y discusión de resultados una metodología cuantitativa para determinar el nivel de riesgo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El tipo de investigación es aplicada, porque su aporte está dirigido al conocimiento y solución de una realidad problemática. El diseño de investigación es transversal, y es del tipo de diseño no experimental, donde se recolectan datos en un solo momento de la investigación.

La población para la presente investigación es el área de la Cordillera Blanca, y para determinar la muestra se empleó el método no probabilístico (no aleatorio) de tipo intencional; porque se basa exclusivamente en la selección de un caso único, que es el más conveniente para el propósito del estudio; la muestra considerada para la investigación es el proyecto de construcción de una presa en la quebrada Cojup, para satisfacer el abastecimiento futuro de agua potable para la ciudad de Huaraz.

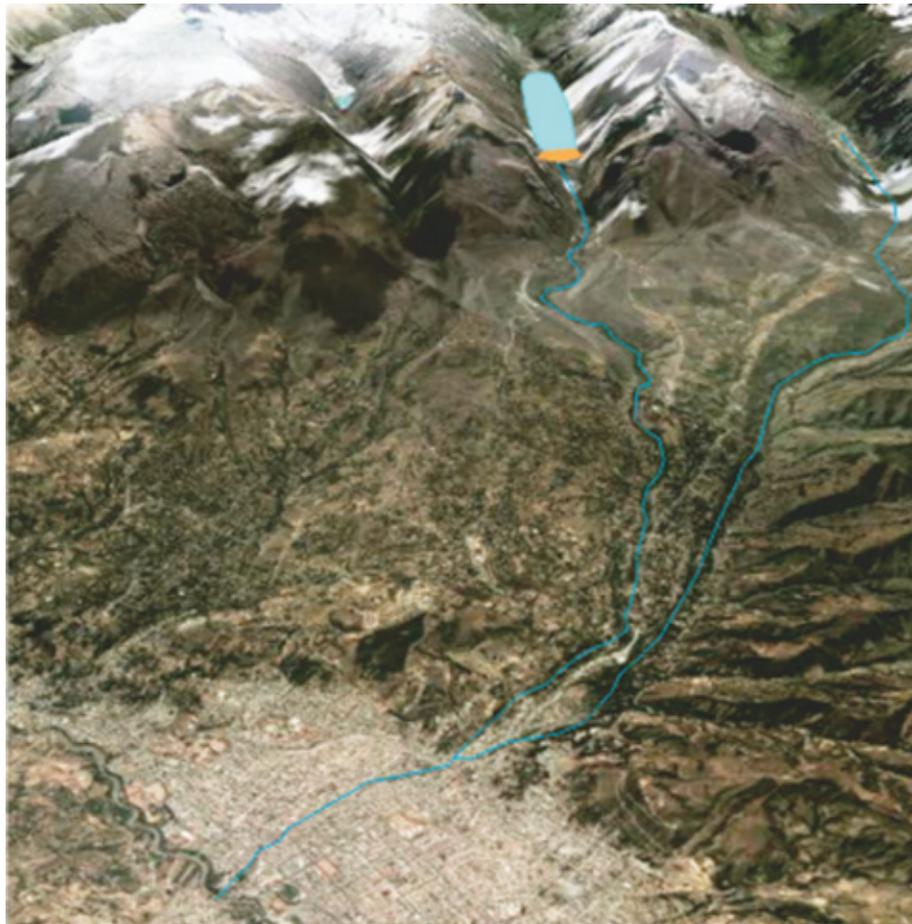


Figura 1. Vista panorámica de la ubicación del proyecto

La metodología aplicada, se ha planteado según el siguiente esquema general del proceso de análisis de riesgo en presas, basado en la guía técnica de seguridad de presas del Comité Nacional Español de Grandes Presas SPANCOLD (2013).

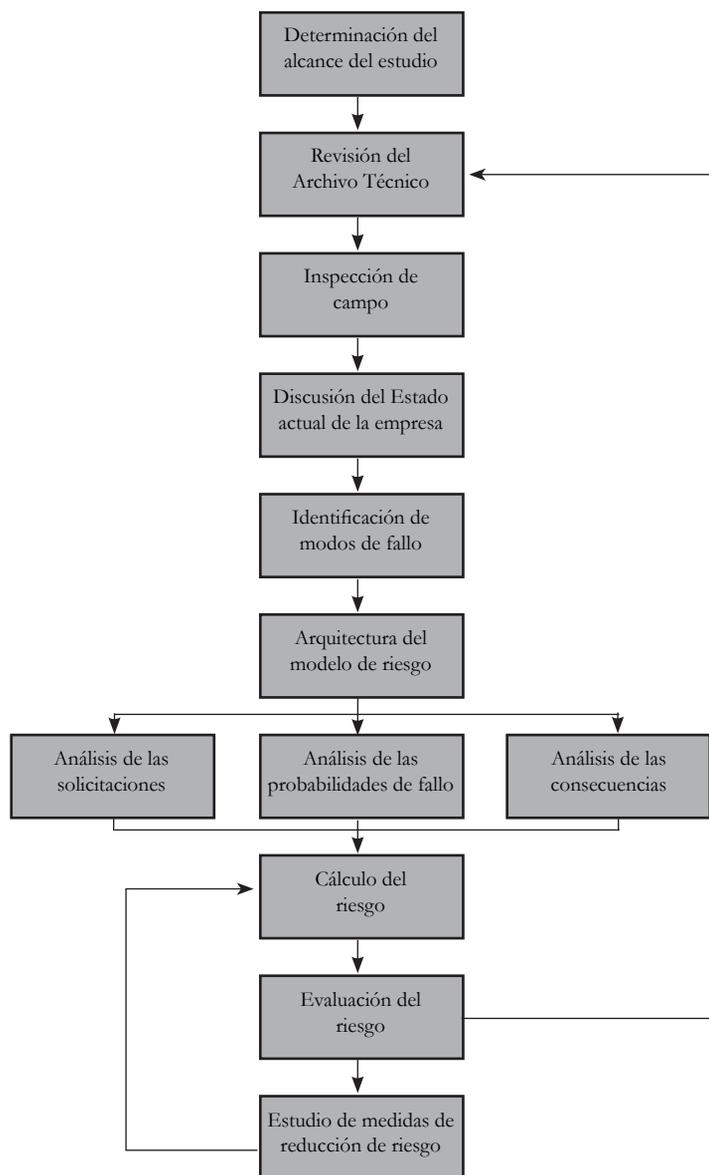


Figura 2. Esquema del proceso de análisis de riesgo en presas

Según el Comité Internacional de Grandes Presas ICOLD (2005), se define como falla o ruptura: «El colapso o movimiento de una parte de la presa que no puede retener el agua». En gran parte del mundo actual las condiciones socioeconómicas están en constante evolución y sus habitantes demandan un mayor conocimiento y control de los riesgos a que están sometidos, tanto por las catástrofes naturales como por las antrópicas. En tal sentido, una normatividad adecuada contribuye a mejorar las condiciones de seguridad en lo que respecta a estos riesgos de falla o rotura de las presas. Existe multitud de términos utilizados en el contexto del análisis y evaluación de riesgos; sin embargo, para comprender la metodología de la declaración de riesgo (que, a su vez, incluye el análisis de riesgo y la evaluación de riesgo) se ha considerado el método pro-

puesto en las figuras 3 y 4 de la aplicación del análisis de riesgo a la seguridad de presas, elaborado por Membrillera y otros (2005).

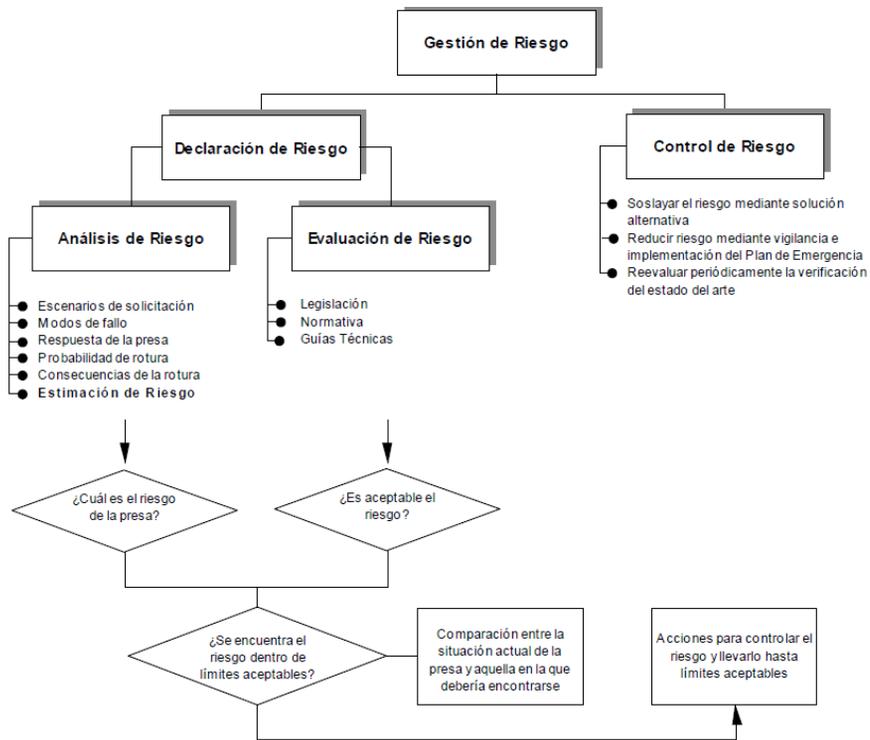


Figura 3. Esquema general para la gestión de riesgo de presas

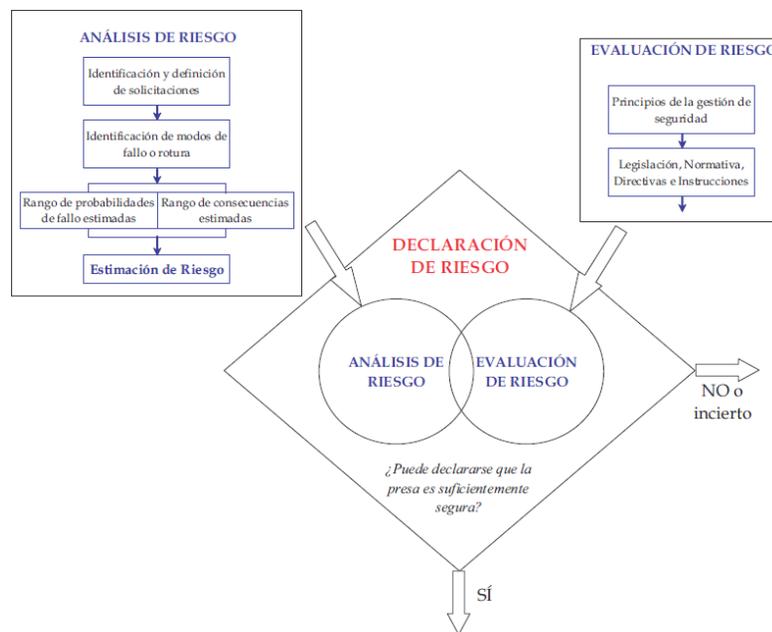


Figura 4. Esquema general para la gestión de la seguridad basada en el riesgo en presas

La base fundamental que sustenta la metodología de riesgos, es el estudio de los modos de rotura o fallo potenciales, que se encuentra dentro del análisis de riesgo. El riesgo es la combinación de tres conceptos: qué puede pasar, cómo de probable es que pase y cuáles son sus consecuencias. Cuando se realiza un análisis de riesgo cuantitativo en seguridad de presas, esta terna se suele reducir a un único número: el producto de la probabilidad de fallo por sus consecuencias. Cuando se realiza el análisis de riesgo de una presa, normalmente no se desea calcular el riesgo global existente, sino que se desea calcular el riesgo incremental imputable a la rotura de la presa. En la investigación se ha utilizado la metodología de análisis y evaluación de riesgo cuantitativo en seguridad de presas, basado en el Software iPresas HidSimp elaborado por Serrano y otros (2009), donde el esquema del proceso de cálculo del riesgo simplificado, se realiza a partir de las definiciones anteriores, el riesgo se define como la combinación de la probabilidad de que se presenten unas determinadas cargas, la probabilidad de que las presas fallen ante estas cargas y las consecuencias que el fallo de la presa produce. Por lo tanto, el proceso de cálculo del riesgo tendrá tres partes según la figura 5.

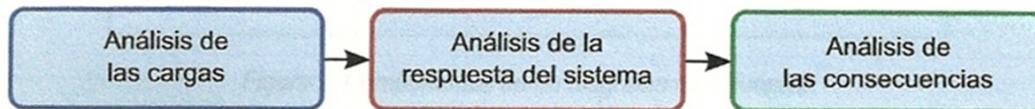


Figura 5. Esquema del proceso de cálculo de riesgo

RESULTADOS

Los resultados para la clasificación de la presa quebrada de Cojup, de acuerdo a las categorías referidas en la metodología de evaluación de la seguridad de presas es la siguiente:

En función de sus dimensiones, la presa se ubica en el criterio de clasificación de grandes presas de acuerdo a la Comisión Internacional de Grandes Presas ICOLD (2005) considerando que la altura de la presa sobre sus cimientos es de 50.0 metros.

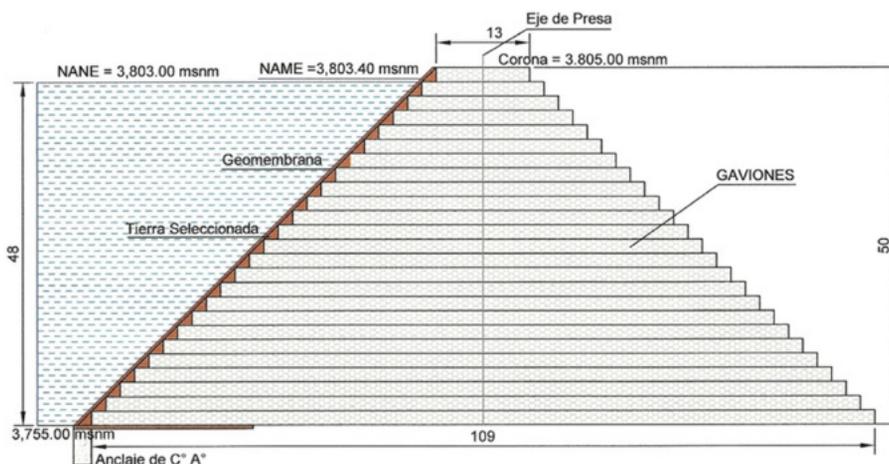


Figura 6. Modelo geométrico de la presa con gaviones proyectado

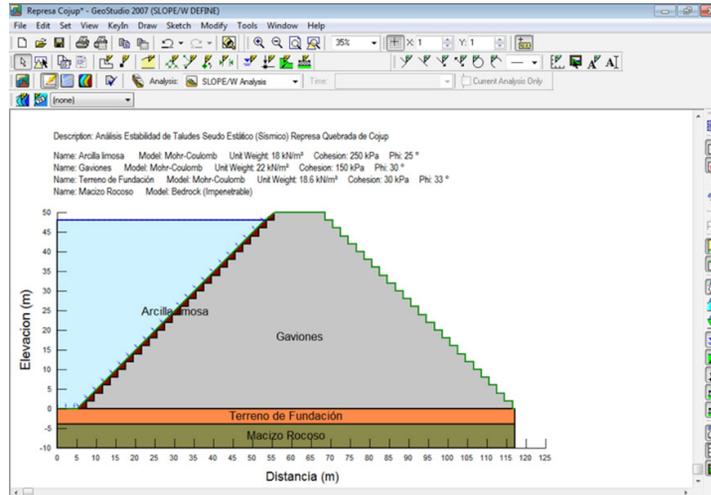


Figura 7. Modelo numérico de la presa con gaviones proyectado

En función del daño potencial, la presa quebrada de Cojup tiene una importancia estratégica ya que suministrará el 70% del abastecimiento futuro de agua potable para la ciudad de Huaraz y alimentará a los sistemas de riego de la zona. Una eventual rotura de la presa, ocasionaría severas pérdidas humanas, ya que existen diversos centros poblados cercanos al lugar del proyecto y aguas abajo se encuentra la ciudad de Huaraz. Como función del daño potencial y en vista de lo anteriormente expuesto, esta presa se clasifica como presas tipo A (presas de importancia estratégica, ya que su eventual rotura o funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos, pérdidas humanas, prestación de servicios esenciales, daños materiales y medioambientales muy importantes).

Los resultados de la evaluación de seguridad geotécnica-estructural, nos indican que el factor de seguridad para la presa en proyecto resulta inestable para un análisis sísmico bidimensional.

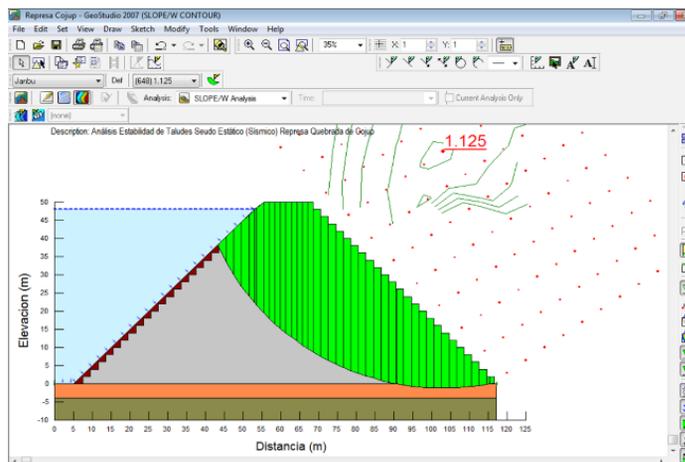


Figura 8. Resultados del análisis seudo-estático de estabilidad de la presa quebrada Cojup

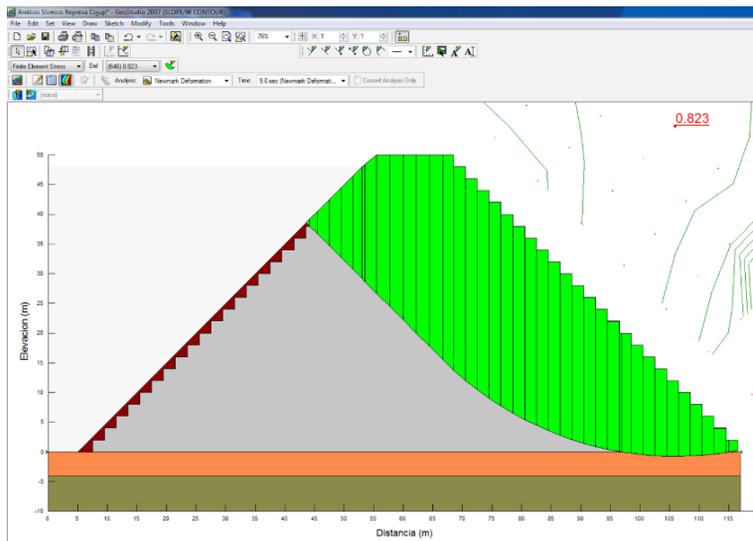


Figura 9. Resultados del análisis sísmico de estabilidad de la presa quebrada Cojup

Una vez realizado el análisis y la evaluación de riesgo cualitativo, utilizando los datos, propiedades y características de la presa; con el uso del software iPresas HidSimp de Serrano y otros (2009), que permite calcular el riesgo en una presa mediante la utilización de un árbol de eventos y su diagrama de influencia, lo que permite una aproximación muy compacta para especificar modelos de riesgo, calculamos el riesgo cuantitativo de la presa.

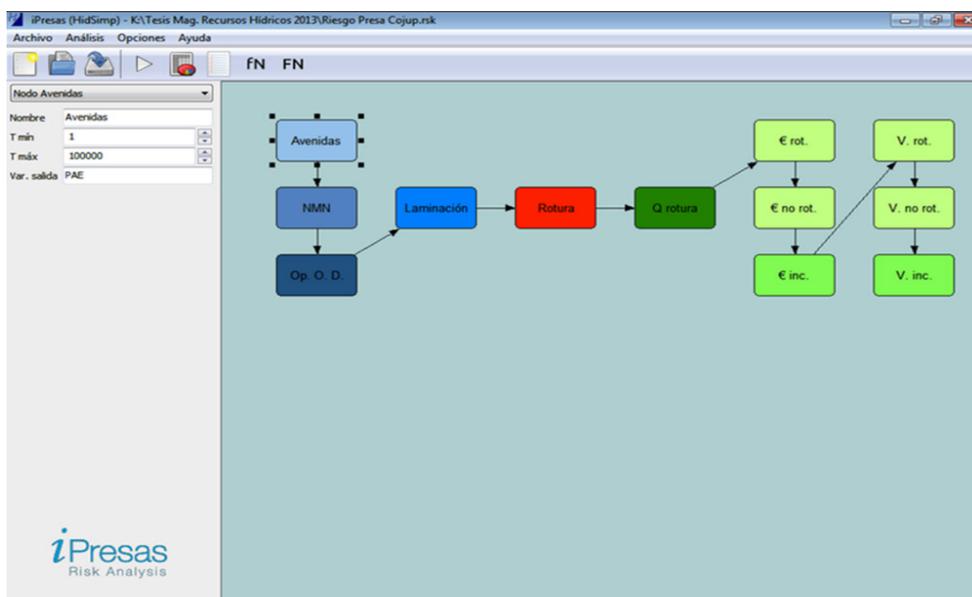


Figura 10. Resultados del ingreso de datos al software iPresas HidSimp

De acuerdo al esquema del proceso de cálculo de riesgo (figura 2), se hace el ingreso de datos del análisis de cargas: Avenidas, NMN, Op.O.D y Laminación. Igualmente se ingresa los datos para el análisis de la respuesta del sistema: Rotura. Finalmente se incluyen los datos para el análisis de las consecuencias. Una vez ingresados los datos y características necesarias a todos los nodos, se ha realizado el análisis con el software, resultando el siguiente riesgo cuantitativo para la presa.

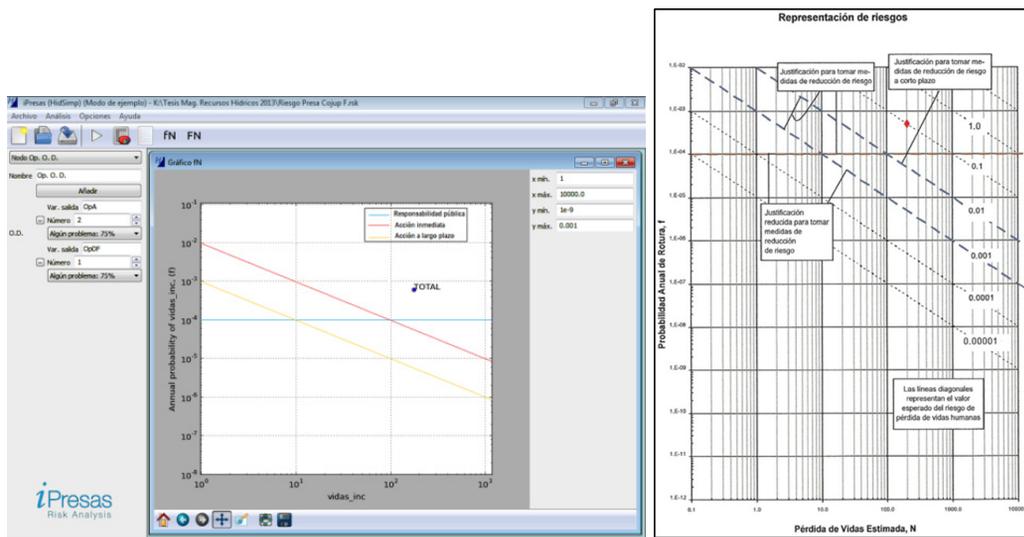


Figura 11. Resultado y comparación del criterio de tolerabilidad de la USBR

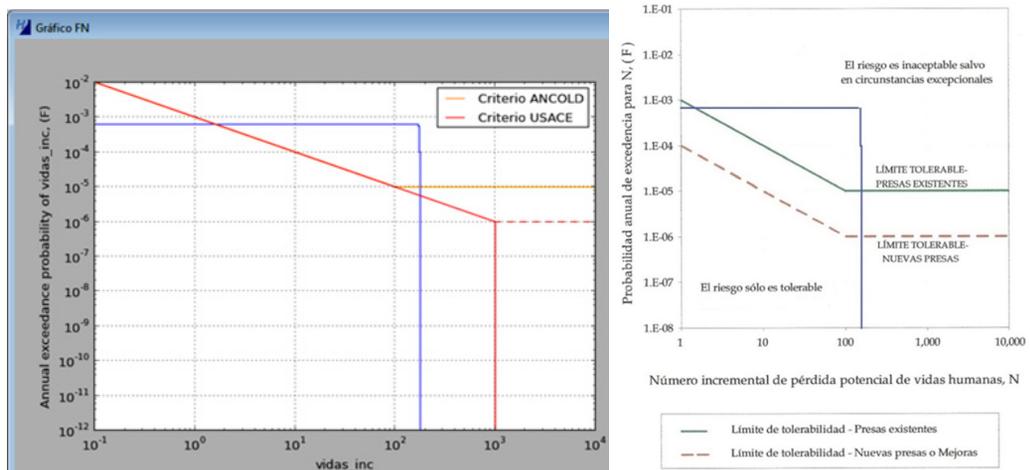


Figura 12. Resultado y comparación del criterio de tolerabilidad del ANCOLD

En la figura 11, se muestra el resultado y la comparación del criterio de tolerabilidad de la USBR, donde se muestra el resultado del análisis cuantitativo de parejas f-N, de valores con probabilidad anual de rotura versus número incremental de pérdidas potenciales de vidas humanas. En las figuras 12 y 13, se muestra el resultado y la com-

paración del criterio de tolerabilidad del ANCOLD y la USACE, donde se muestra el resultado del análisis cuantitativo para la curva F-N, de valores con probabilidad anual de pérdida potencial de vidas versus número incremental de pérdidas potenciales de vidas humanas.

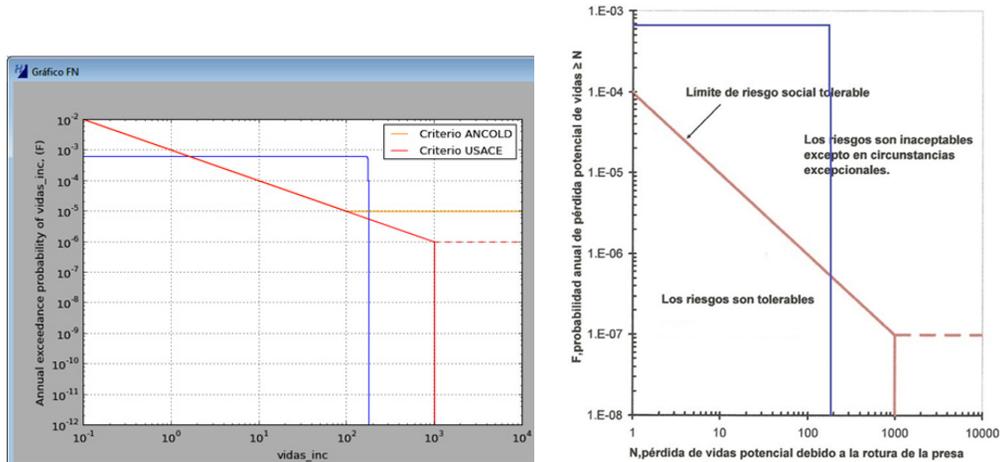


Figura 13. Resultado y comparación del criterio de tolerabilidad del USACE

DISCUSIÓN

Para la USBR (2003), el resultado respecto a la responsabilidad pública [probabilidad anual de pérdida o rotura igual a 10^{-4} (0.0001)], nos indica al estar por encima el punto de parejas f-N, que se justifica realizar medidas de reducción de riesgo. De las fronteras que indica el criterio de tolerabilidad, cuando el resultado está por encima de 10^{-2} (0.01) vidas/año, se justifica tomar medidas de reducción de riesgo a corto plazo o inmediato. En especial se debe realizar medidas que bajen el riesgo rápidamente, y en el caso de explotación o funcionamiento de la presa, debe ser necesario un mayor análisis para disminuir la incertidumbre de los resultados, y se recomienda que éstos se finalicen antes de 90 días.

ANCOLD (2003), que propone dos criterios de tolerabilidad de riesgo, el cual primeiramente indica que limita el riesgo de la persona más expuesta a 10^{-5} (0.00001) al año para nuevas presas, donde deberá ser un riesgo alto. De los resultados se indica que la presa presenta riesgo alto, que en la práctica señala que existe una probabilidad de rotura. La segunda propuesta indica que se limita el riesgo social mediante un criterio F-N y cuando los riesgos quedan por encima del criterio, se dice que el riesgo es alto, excepto en circunstancias excepcionales. De los resultados se tiene que el riesgo está por encima del límite tolerable, por lo que el riesgo es alto. La decisión de las medidas de reducción de riesgos, no deben ser del propietario de la presa, sino del gobierno o el organismo regulador de presas.

Para el USACE (2009), que propone un límite de riesgo social tolerable similar al criterio usado por ANCOLD, con la única excepción de que aquí se aplican adicionalmente a los casos en que se superen las 1000 víctimas, independientemente de la probabilidad de ocurrencia. De los resultados se tiene que el riesgo está por encima del límite de riesgo social tolerable, por lo que el riesgo es alto.

CONCLUSIONES

Del análisis y evaluación del riesgo cuantitativo se concluye que la presa Cojup presenta un riesgo alto a la seguridad por falla.

Se concluye además que la aplicación de una metodología de análisis y evaluación de riesgos a la seguridad de fallas en presas, es una experiencia innovadora de investigación en el tema de gestión de riesgos de presas en proyecto, futura construcción y funcionamiento.

Se recomienda la necesidad de realizar planteamientos adecuados en evaluar las medidas de reducción y control de riesgo en el estado actual del proyecto e incorporarlas en el estudio definitivo, para su verificación en la etapa de construcción y funcionamiento de la presa. Es así que esta investigación conforma un primer paso para crear un proceso de gestión más eficiente y segura para el adecuado funcionamiento de las presas y que tengan un riesgo bajo a la seguridad por falla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Australian National Committee on Large Dams. 2003. *Guidelines on Risk Assessment*. Canberra: Directrices sobre evaluación de riesgos.
- Comité Nacional Español de Grandes Presas. 2013. *Análisis de riesgos aplicado a la gestión de seguridad de presas y embalses*. Madrid: Guía Técnica de Seguridad de Presas.
- International Commission on Large Dams. 2005. *Committee on dam safety: Risk assessment in dam safety management. A reconnaissance of benefits, methods and current applications*. Paris: Boletín 130.
- Membrillera, Manuel y otros. 2005. *Aplicación del Análisis de Riesgos a la Seguridad de Presas*. Valencia: Grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos (GIRH), del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Serrano, Armando y otros. 2009. *iPresas HidSimp: Software para análisis de riesgo*. Brasilia: 23 Congreso Internacional de Grandes Presas, Universidad Politécnica de Valencia.

||Reynaldo Reyes Roque

United States Bureau of Reclamation (Departamento de Reclamación de Estados Unidos). 2003. *Guidelines for achieving public protection in dam safety decision making*. Washington D.C.: Informe técnico Departamento del Interior de Estados Unidos.

United States Corps of Engineers (USAGE) (Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos). 2009. *Exploration of Tolerable Risk Guidelines for the USAGE Levee Safety Program*. Washington D.C.

Fecha de recepción: 8 de junio de 2016

Fecha de aceptación: 21 de diciembre de 2016

Correspondencia

Reynaldo Reyes Roque

ing.reynaldo.reyes@hotmail.com