

Q.98. Presas de tierra y balsas de residuos mineros



Antonio Soriano Peña

PhD. Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Profesor emérito. Universidad Politécnica de Madrid



Antonio Soriano Martínez

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Ingeniería del Suelo S.A. Profesor Asociado Universidad Politécnica de Madrid

Resumen

En este artículo se resumen las contribuciones a la cuestión Q98 presentadas al XXV Congreso Internacional de Grandes Presas, celebrado en Stavanger (Noruega) el pasado verano de 2015. A esta cuestión se presentaron un total de 41 artículos procedentes de 23 países diferentes. De ellos 25 fueron objeto de presentación oral en la sesión correspondiente.

Palabras clave

Presas de tierra, balsas mineras, presa de escollera, erosión interna

Abstract

This paper describes the contributions to question Q98, presented to the XXV International Congress on Large Dams that took place in Stavanger (Norway) the past summer of 2015. A total of 41 reports were submitted to this question presented by 23 different countries. Most of them, up to 25 papers, were orally presented at the corresponding session.

Keywords

Earthfill dams, Tailing dams, Rockfill dams, Internal erosion

Introducción

El título del tema nº 98 del vigesimoquinto congreso del ICOLD es: presas de materiales sueltos y presas de residuos mineros. Para este tema se presentaron un total de 41 artículos redactados en 23 países. De los 41 artículos oficialmente 3 son españoles. La distribución de los artículos por países de procedencia queda resumida en la figura 1.

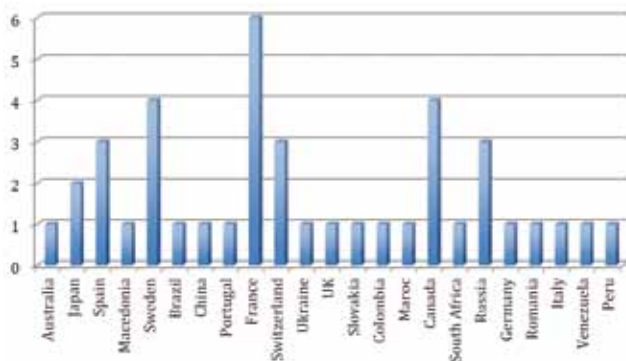


Fig. 1. Distribución de artículos presentados por países

Realmente, el artículo asignado a Perú (‘Proyecto de factibilidad de la presa de Yarascay’) ha sido redactado, entre otros, por

R. López Manzano y en el resumen de artículos aparece asignado a España. Por lo tanto, finalmente podría decirse que fueron 4 los artículos presentados por España.

Este tema se dividió en cinco subtemas que trataron los siguientes aspectos:

- ‘Grandes presas de materiales sueltos. Proyectos innovadores de grandes presas de materiales sueltos’. En este subtema se presentaron 14 artículos (1 español, redactado, entre otros por R. López Manzano).
- ‘Erosión interna. Análisis de la erosión interna, auscultación y reparaciones’. En este subtema se presentaron 9 artículos (1 español, redactado por A. Granados, I. Granados, L. Garrote y J.A. Remesal).
- ‘Cimentación de presas de materiales sueltos. Casos históricos de rotura, proyectos recientes y soluciones aplicadas’. En este subtema se presentaron 5 artículos (2 de ellos españoles, redactados uno por M. Romana y otro por A. Gonzalo).
- ‘Contacto relleno-estructura. Diseño y comportamiento de contactos relleno-estructura’. En este subtema se presentaron 4 artículos.
- ‘Presas de residuos mineros. Proyectos recientes, métodos de análisis y reducción de riesgos y limitación de altura’. En este subtema se presentaron 9 artículos.

El presidente de la sesión dedicada a esta cuestión fue D. Jean-Pierre Tournier (Canadá) que, a su vez, es el actual presidente del comité de ICOLD sobre presas de materiales sueltos. Como copresidente de la sesión de presentaciones estuvo el Dr Harvey McLeod, presidente del comité en ICOLD sobre balsas de residuos mineros. El relator general de la Q98 fue el Dr. Xu Zeiping (China).

De cada uno de los subtemas cinco artículos fueron seleccionados para su presentación oral (25 artículos en total). En lo que sigue se presenta un resumen de los artículos presentados en el congreso relativos a la cuestión 98.

Grandes presas de materiales sueltos

En este subtema se trataron proyectos innovadores de presas de materiales sueltos de gran altura (alturas mayores de 80 metros) en sus distintas tipologías: presas con núcleo central de arcillas (ECRD), presas con pantalla de hormigón o asfáltica en el espaldón de aguas arriba (CFRD, AFRD), presas con núcleo asfáltico (ACRD) y presas con disposición de geomembrana como elemento impermeabilizante. En la figura 2 se presenta la evolución temporal de este tipo de presas.

La mitad de los artículos presentados en este subtema están referidos a presas de tipo CFRD y ACRD lo cual indica la tendencia mundial en el diseño de presas de materiales sueltos.

Las presas de materiales sueltos normalmente presentan ventajas frente a otras tipologías de presas (desde el punto de vista económico y ambiental y, además, pueden adaptarse mejor a condiciones geológicas adversas). En este sentido, uno de los artículos presentados (Radmilo Glisic) presenta el estudio de comparativas para el proyecto de una presa en Perú. En este artículo se analizan tres tipologías de presas de materiales sueltos (ECRD, CFRD y ACRD) y dos tipologías de presas de fábrica (presa arco y presa RCC). En ese estudio concreto, la presa más ventajosa, tanto desde el punto de vista económico como medioambiental resulta ser la presa tipo CFRD.

Presas de materiales sueltos con núcleo (ECRD)

Actualmente, las presas de materiales sueltos de mayor altura responden a esta tipología. La técnica para la construcción de este tipo de presas se centra en el estudio de materiales, el diseño de filtros y el cálculo tenso-deformacional con objeto de evitar la formación de grietas en el núcleo impermeable. En relación con este tipo de presas se presentó un artículo redactado por Sophie Messerklinger. En ese artículo se pre-

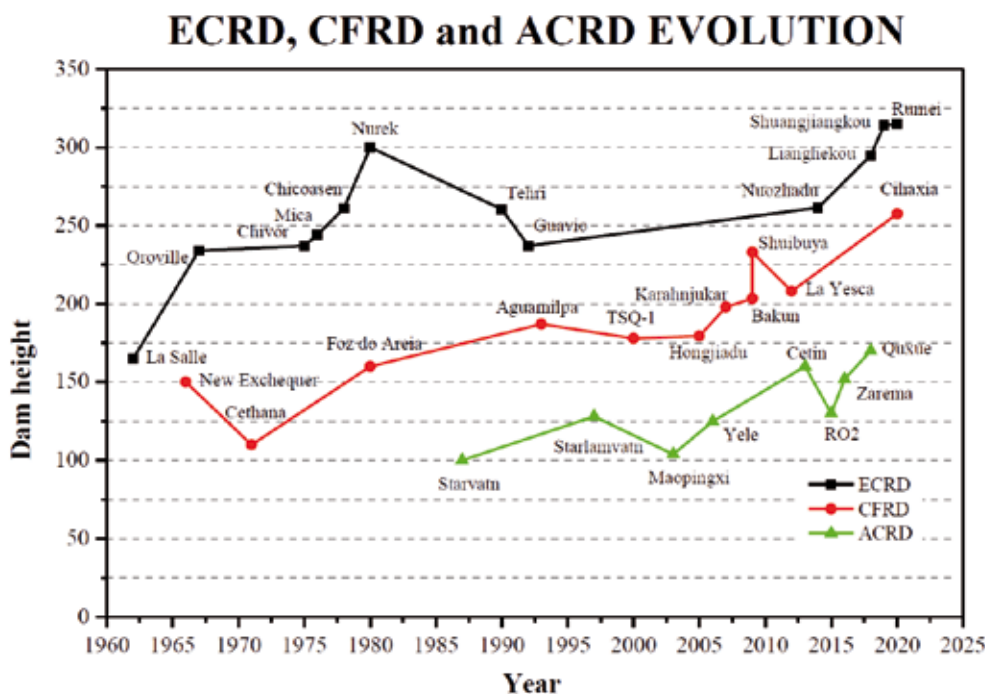


Fig. 2. Desarrollo de presas de materiales sueltos de gran altura

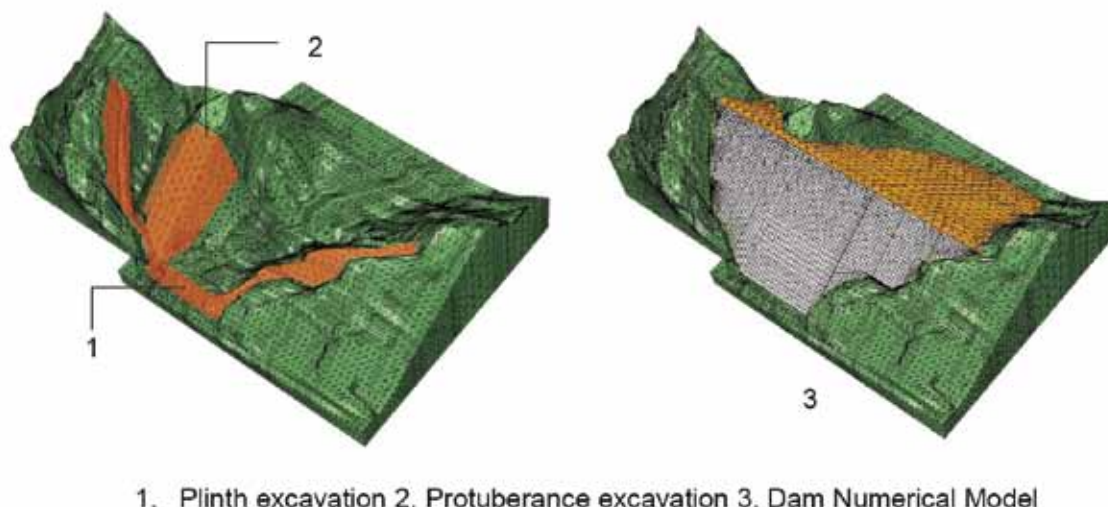


Fig. 3. Modelo numérico de la presa del Quimbo (Colombia)

sentan los distintos materiales que pueden utilizarse (y se han utilizado) para la formación del núcleo impermeable de este tipo de presas. En presas de gran altura (200 metros o mayor) las tensiones en el núcleo son elevadas y, por tanto, se hace necesario utilizar materiales con suficiente resistencia al corte por lo que, en esos casos, pueden resultar necesarios núcleos formados por arcillas con gravas (tamaños superiores a 5 mm con un contenido del orden del 20 %).

Presas con pantalla impermeable de hormigón en paramento de aguas arriba (CFRD)

Esta tipología de presas se lleva construyendo desde hace más de 100 años. Las experiencias en cuanto al diseño y comportamiento de esta tipología de presas queda recogida en varios boletines editados por el ICOLD (boletines 32, 70 y 141). En relación con esta tipología de presas se presentaron 3 artículos.

En el artículo presentado por A. Marulanda se realiza una revisión de la evolución de la técnica de construcción de presas de esta tipología a lo largo de la historia. En el artículo se presenta el análisis de incidentes recientes en presas CFRD de gran altura y se remarca la necesidad de mejorar la técnica actual de diseño de este tipo de presas más allá de los métodos empíricos, desarrollando metodologías analíticas para el análisis del comportamiento de este tipo de presas.

En este artículo se concluye que, en base a la observación del comportamiento de varias presas de esta tipología que

han presentado un mal comportamiento, este se ha debido a las características del material utilizado para formar los espaldones. Se indica que es importante disponer un material poco deformable en los espaldones lo que se consigue con una distribución granulométrica adecuada del material y una correcta puesta en obra del mismo (humedad y compactación).

En este sentido (características del material para formar el cuerpo de presa). Frossard y Nieto-Gamboa presentaron al congreso un artículo en el que se estudia el “efecto escala” del material de relleno en base a una investigación desarrollada en Francia durante los últimos diez años. Según los autores el “efecto escala” está relacionado con la resistencia al corte y la deformabilidad del cuerpo de presa. En este mismo sentido, para presas de gran altura puede producirse la rotura de las partículas que forman el cuerpo de presa modificándose, de este modo, la granulometría del relleno pudiéndose provocar asientos de fluencia que tienen un impacto significativo en las deformaciones post-constructivas. En ese mismo artículo se indica que los modelos numéricos que incorporan los efectos de escala en sus relaciones constitutivas ponen de manifiesto que los incidentes observados en distintas presas de gran altura correspondientes a esta tipología pueden explicarse por las deformaciones excesivas relacionadas con estos efectos de escala.

Las presas CFRD se adaptan bien a diferentes condiciones topográficas y geológicas, en este sentido, Frossard, Nieto-

Gamboa y Robles presentaron un artículo describiendo algunos detalles del proyecto de la presa de Mazar de 166 metros de altura en los Andes Ecuatorianos así como de su comportamiento postconstructivo (lleva en servicio desde finales de 2009). La cerrada de esta presa es muy estrecha, siendo el estribo derecho prácticamente vertical. Debido a la geometría de la cerrada, existía riesgo de concentración de deformaciones tangenciales en el estribo derecho y desarrollo de deformaciones de compresión en las secciones del cauce. Ante esto se aplicaron una serie de medidas que incluían la excavación parcial del estribo, dejando un talud de contacto presa-cimiento 2H:3V para los primeros 50 metros bajo la superficie de la pantalla de hormigón y el estudio detallado de la junta perimetral en la que se dispusieron múltiples elementos de impermeabilización, un detalle de esta junta es la que se presenta en la figura 4.

En general, de las experiencias previas, se ha aprendido que el control de la deformación del relleno del cuerpo de presa es uno de los aspectos más importantes en el diseño y la construcción de presas CFRD de gran altura. Las tensiones en la pantalla y los movimientos de las juntas entre módulos

de pantalla se deben, fundamentalmente, a las deformaciones del relleno del cuerpo de presa.

Presas con pantalla asfáltica en el paramento de aguas arriba y presas con núcleo asfáltico (ACRD, AFRD)

Estas tipologías de presas presentan las ventajas de impermeabilidad, adaptación a las deformaciones y resistencia frente a sismos. Actualmente, dado al progreso de la tecnología de construcción, se están construyendo presas de gran altura correspondientes a estas tipologías en el mundo.

La primera presa AFRD fue la presa de Diga di Cordelago construida en 1893 en Italia con una altura de 18 m, mientras que la primera presa de tipo ACRD fue la presa de Vale de Caio (Portugal) construida en el año 1948 con una altura de 45 metros. Desde entonces ha ido evolucionando la técnica de construcción de esta tipología de presas. Los avances y descripción de este tipo de presas se encuentran recogidas en los boletines n° 32, n° 84 y n° 144 de ICOLD.

En general, existen dos métodos de construcción para las presas con núcleo asfáltico: método de vertido y método de

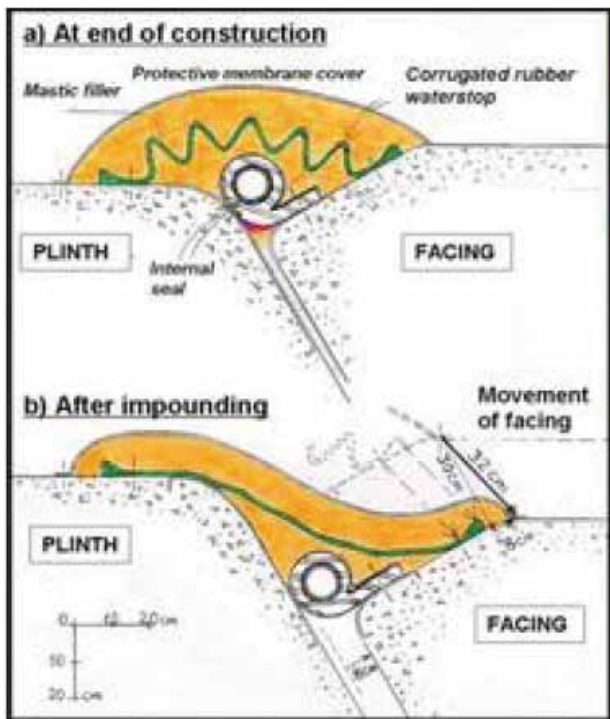


Fig. 4. Disposiciones específicas de la junta perimetral en la presa de Mazar (Ecuador)

compactación. La mayor parte de las presas de este tipo se han realizado por el método de compactación, sin embargo, esto no quiere decir que el método de vertido no pueda ser utilizado en la construcción de este tipo de presas, todo lo contrario, el método de vertido tiene ventajas evidentes en condiciones climáticas severas. En este sentido Alexandr Volynchikov presentó un artículo en el que se muestran ejemplos de presas ACRD ejecutadas con el método de vertido con temperaturas durante la construcción de hasta -38 °C.

En el artículo presentado por Oleksandr Vaynberg y Lurii Landau se propone un nuevo diseño de núcleo para esta tipología de presas formado por losas prefabricadas de hormigón armado en los lados de aguas arriba y aguas abajo del núcleo y hormigón asfáltico entre las losas. En la figura 5 se muestra un esquema de este tipo de núcleo.

Las caras externas de las losas se cubren con geomembranas impermeables. Este diseño innovador puede mejorar las condiciones tensodeformacionales del núcleo formado por hormigón asfáltico, impidiendo la extrusión del núcleo en caso de altas presiones en el núcleo. El uso de la geomembrana en las caras exteriores reduce el rozamiento con el relleno reduciendo el efecto de cuelgue de espaldones en el núcleo.

En el artículo presentado por Vlad Alicescu, et al, se describe el complejo hidroeléctrico La Romaine situado en Quebec (Canadá). El proyecto consiste en 4 plantas hidroeléctricas con una capacidad instalada de 1.550 MW. Tras realizar un estudio comparativo, se seleccionó la tipología ACRD para la presas de La Romaine 1 y 2.

Durante la construcción de la presa de La Romaine 2 (112 metros de altura) se dispuso un sistema de auscultación para conocer el comportamiento del cuerpo de presa. Conociendo las tensiones del cuerpo de presa y los asientos registrados durante la construcción se obtuvo un módulo de deformación durante la construcción E_{rc} que se consideró como un módulo edométrico para su utilización en análisis posteriores de tensión-deformación. Estos análisis posteriores han mostrado un buen ajuste con los asientos medidos con el sistema de auscultación dispuesto. Este estudio queda descrito en el artículo presentado al congreso por Marc Smith.

Por último, P. Sembenelli y V. Afsari-Rad presentaron un artículo al congreso en el que se describe el diseño la construcción y las especificaciones de la presa de tipo ACRD Zarema May Day de 152 metros de altura ejecutada en Etiopía. En esta presa el núcleo asfáltico fue construido mediante compactación con rodillo hasta una altura de 137 metros. Desde esa cota y hasta la coronación de la presa se dispone un sistema de impermeabilización mediante membrana (PVC y polipropileno) situada en el paramento de aguas arriba. La sección tipo de la presa es la que se presenta en la figura 6.

Presas de materiales sueltos con geomembrana como material impermeable

Las geomembranas presentan una alta impermeabilidad. Con los avances de este tipo de elementos, se han ido utilizando cada vez más en la ingeniería de presas, tanto en construcción de nuevas presas como en rehabilitación de presas antiguas.

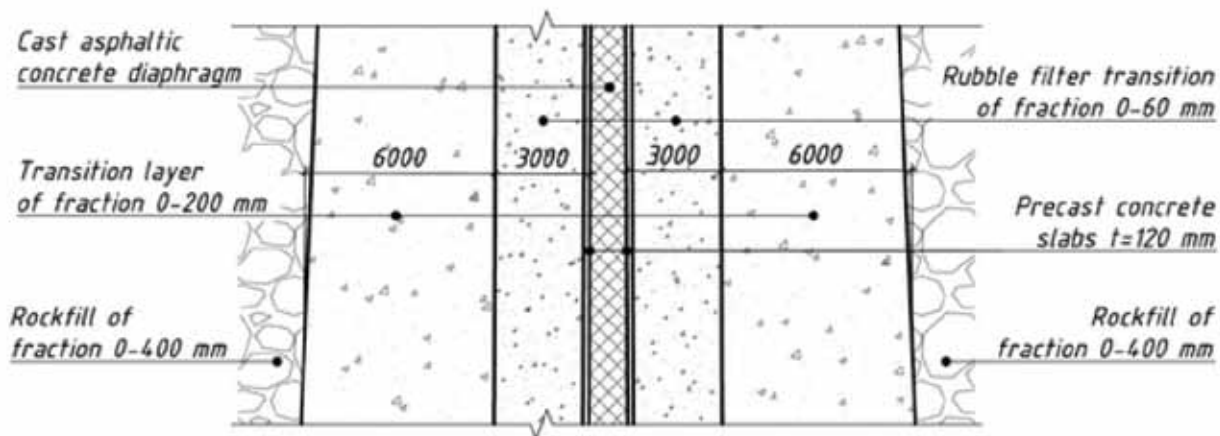


Fig. 5. Diseño de pantalla asfalto-hormigón como núcleo de presa de materiales sueltos

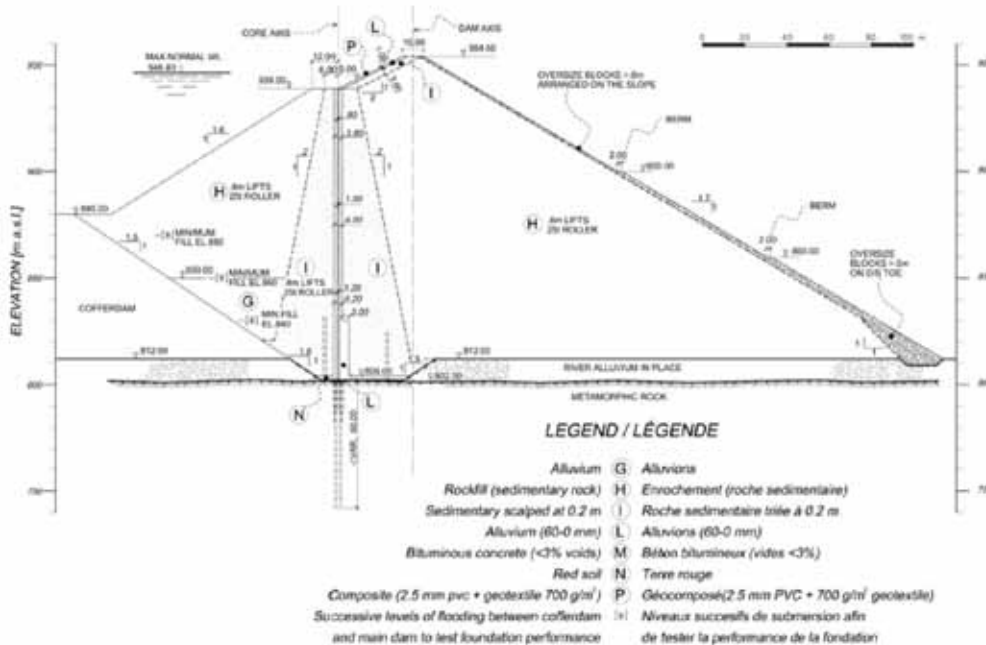


Fig. 6. Sección tipo de la presa de Zarema (Etiopía)

Alberto M. Scuero et al presentaron un artículo en el que se resume el estado del arte de las geomembranas en presas de materiales sueltos. En ese artículo se describen las configuraciones que pueden adoptarse para su utilización: geomembrana expuesta en el paramento de aguas arriba, geomembrana protegida en el paramento de aguas arriba o geomembrana situada en la zona central del cuerpo de presa. El principal activo de este tipo de elementos para su utilización en presas de materiales sueltos es la excepcional propiedad de elongación que presenta que permite resistir asentamientos, movimientos diferenciales y eventos sísmicos mejor que los elementos impermeables tradicionales.

Francisco Cristóbal et al presentaron un artículo en el que se presenta un caso de reparación de la pantalla de la presa de Turimiquire (Venezuela) de tipo CFRD utilizando geomembranas prefabricadas de PVC.

Aspectos sísmicos de las presas de materiales sueltos

Las presas de materiales sueltos modernas tienen una alta capacidad resistente frente a los sismos, especialmente las de tipología CFRD y ACRD. Martin Wieland y R. Peter Brenner presentaron un artículo en el que se describe el comportamiento de las presas de materiales sueltos y su respuesta frente a distintos eventos sísmicos.

En general, la peligrosidad sísmica varía dependiendo de los condicionantes específicos de la localización de la presa, que incluyen aspectos geológicos y topográficos, las condiciones de la cimentación, la presencia de fallas activas en la región, la distancia de la presa a las fallas activas, los materiales utilizados en la construcción de la presa y calidad de la construcción. La mayor parte de los fallos de presas debidos a acciones sísmicas se han debido a diseño y métodos de construcción inadecuados.

En el boletín n° 148 de ICOLD se describen los criterios generales a tener en cuenta para el proyecto de presas afectadas por riesgos sísmicos.

Erosión interna

La erosión interna es una de las causas principales de incidentes y fallos en presas de materiales sueltos. Este fenómeno se produce por filtración de agua a través del cuerpo de presa o del cimientado, esta filtración puede producir una erosión del cuerpo de presa que comienza en la zona de salida de la filtración. Si esta filtración no se controla en la salida mediante un filtro, la erosión puede progresar por el cuerpo de presa provocando la rotura de la misma.

Alfredo Granados et al presentaron un artículo al congreso en el que se describe la experiencia del tratamiento de la

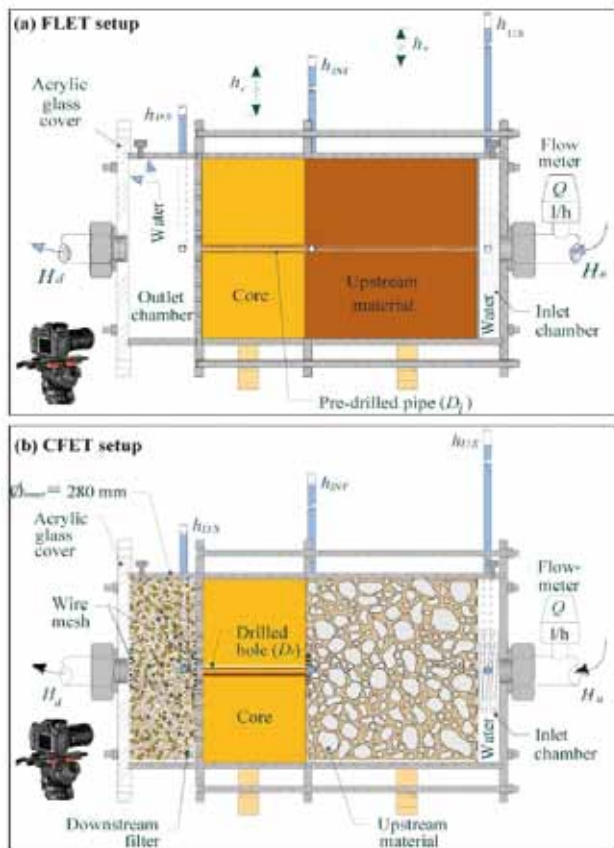


Fig. 7. Esquemas de ensayos FLET y CFET

cimentación de la presa de Andévalo (ECRD, 78 metros de altura en Huelva) mediante el revestimiento del cimientado con una losa armada de 50 cm de canto que separa el núcleo de la presa de la roca de cimentación. En el artículo se expone el tratamiento efectuado y el comportamiento del mismo en el proceso de llenado.

Hans Rönqvist et al presentan un artículo en el que se describe un gráfico unificado para la evaluación de la posibilidad de erosión interna. Este gráfico se ha realizado analizando los datos de 80 presas construidas entre 1941 y 1993 con alturas entre 10 y 125 metros. En 23 de estas presas se ha descrito algún tipo de erosión interna. Adicionalmente se expone un caso de estudio de la presa de Grundsjön en Suecia, en la que se produjo un suceso de erosión interna en 1990, utilizando el gráfico propuesto.

Ricardo Correia Dos Santos et al, presentaron un artículo en el que se describen dos ensayos de laboratorio para investigar el

fenómeno relacionado con la erosión interna para presas zonificadas. El primer ensayo se denomina *Flow Limitation Erosion Test* (FLET) que se centra en estudiar la influencia aislada de la restricción de flujo debido a la presencia de los materiales situados aguas arriba del núcleo. El segundo ensayo se denomina *Crack Filling Erosion Test* (CFET) que se centra en la evaluación de la capacidad de relleno de grietas mediante partículas de suelos granulares erosionadas localizadas aguas arriba del núcleo. Los resultados de una serie de ensayos mostraron que la acción limitadora de flujo se rige por la granulometría, plasticidad y características de compactación de los materiales situados aguas arriba y que el relleno de la grieta por suelos granulares se rige principalmente por la compatibilidad entre los materiales erosionados situados aguas arriba con el filtro de aguas abajo. En general, con mayor contenido en arenas y menor contenido en finos para el suelo de aguas arriba, combinado con un diámetro D15 menor del filtro, la posibilidad de relleno de las grietas es mayor.

En el artículo presentado por Des Hartford et al se cuestiona la idoneidad de utilizar la probabilidad anual de fallo para la erosión interna. En su lugar presentan un enfoque diferente de “cambio de estado” dependiente del tiempo para estimar la probabilidad de fallo en función en el cambio de densidad a lo largo del tiempo según se van perdiendo partículas de suelo.

K.R Leggee et al presentan un artículo en el que se propone un sistema de filtro compuesto formado por un geotextil no tejido usado conjuntamente con un filtro granular. Según los autores de este artículo con este sistema de filtro compuesto puede reducirse el espesor de filtro (coste), se reduce el riesgo de sufrir una grieta en el material de filtro granular y proporcionan una protección añadida de drenaje bajo asientos significativos.

Para la rehabilitación de presas existentes con riesgo de erosión interna, en el artículo presentado por Ake Nilsson et al, se expone un caso de mejora de seguridad de una presa de materiales sueltos en Suecia cuyo elemento impermeable está formado por tablestacas de madera. El seguimiento de la presa muestra un continuo deterioro de la función de sellado del tablestacado de madera. Se considera que las altas presiones intersticiales provocarán una erosión interna para lo que se construyó un relleno de escollera en el talud de aguas abajo de la presa.

En el artículo presentado por Jean-Jacques Fry et al se resumen algunos resultados del programa nacional de investigación sobre la mitigación del riesgo de erosión interna en

Francia, que incluyen estudios sobre el mecanismo de erosión interna mediante ensayos de laboratorio, metodología para detectar la posible erosión interna in situ y las medidas a adoptar para mitigar el riesgo de erosión interna. En general, debido a las diferencias de las condiciones para cada caso, la selección de las medidas a adoptar para evitar la erosión interna deben basarse en un análisis exhaustivo de cada caso concreto.

Jean-Jacques Fry et al, presentó otro artículo en el que se describe un ensayo de modelo a gran escala sobre la erosión del contacto entre el cimientado formado por gravas y un núcleo formado por limos, para comprobar cómo se produce el fallo por erosión interna. Como medidas de reparación, se presentaron dos innovaciones recientes basadas en tratamientos no invasivos. El primer tipo de tratamiento consiste en la mezcla de suelo in situ con un aglutinante para formar pantallas continuas que incrementan la resistencia al corte y actúan como pantalla impermeable. El segundo tipo de tratamiento es una tecnología emergente para la consolidación de una gran variedad de suelos llamada *bio-grouting*.

No es sencillo detectar de una manera precoz los problemas relacionados con la erosión interna, normalmente este tipo de patologías se detectan cuando ya se ha producido cierto daño. En el artículo presentado por Yves-Laurent Beck et al, se describen los principios de la utilización de la fibra óptica para auscultar el comportamiento hidráulico y mecánico del cuerpo de presa y se presentan resultados obtenidos en presas auscultadas mediante este sistema. Con este sistema podrían detectarse, entre otras cosas, problemas de erosión interna en presas.

Cimentación de presas de materiales sueltos

En relación con la cimentación de presas de materiales sueltos, Manuel Romana presentó un artículo al congreso en el que se describen los requisitos generales para la cimentación del plinto de las presas de tipología CFRD. En ese artículo se hace hincapié en que la alineación del plinto debe ser regular evitando esquinas en la alineación. Para asegurar la estabilidad, el cimientado debe ser regularizado con hormigón, dejando el plinto lo más delgado posible. La anchura del plinto debe establecerse de tal modo que el gradiente hidráulico sea admisible en función de la calidad del cimientado.

En el artículo presentado por Peter Rissler y Wynfrith Riemer se describe el proyecto de una presa de materiales sueltos en Nepal en la que las incertidumbres que presentaba la cimentación han dificultado las decisiones sobre el tratamiento del cimientado.

Alexandre Tournier et al presentaron un artículo en el que se describe el tratamiento de estabilización de un cortado rocoso situado en el estribo derecho de la presa Romaine 2 que forma parte del complejo hidroeléctrico Romaine en Quebec (Canadá). El cortado en la roca tiene una altura de 120 metros con voladizos y roca fracturada. El tratamiento se efectuó en dos fases diferenciadas, una excavación en la parte superior y un refuerzo mecánico de la parte inferior del cortado.

En el artículo redactado por Alberto Gonzalo se presenta una nueva tecnología para cortar la filtración en suelos granulares. Esto se logra mediante la utilización de una familia de nuevos polímeros que pueden sellar fugas importantes (cientos de litros por segundo) con presiones elevadas (hasta 200 metros de altura de columna de agua) sin necesidad, por tanto, de realizar



Fig. 8. Ensayo a gran escala de erosión interna



Fig. 9. Estribo derecho de la presa de Romanie 2 tras la excavación

un vaciado de la presa ni la utilización de buzos. Según se indica en el artículo más de 200 presas han sido reparadas utilizando esta tecnología si bien se ha de desarrollar la tecnología para su aplicación a materiales sueltos y a suelos aluviales y rocas sometidas a fuertes corrientes de agua.

Jean-Jacques Fry et al presentaron un artículo en el que se resume la respuesta de cuatro pantallas impermeables efectuadas en aluviales, tres pantallas efectuadas en materiales glaciales y dos efectuadas en un cimient granítico. El corte de acuíferos mediante pantallas impermeables es cada vez menos aceptable para la sociedad, por tanto se han realizado campañas de investigación y análisis de flujo con objeto de determinar la posición adecuada para el pie de las pantallas impermeables. Estos estudios son los que se describen en el artículo. Dado que el pie de la pantalla puede no quedar empotrado en un material impermeable se ha de disponer un sistema de auscultación que detecte posibles problemas de erosión en el pie de la pantalla o implementar un adecuado sistema de filtro y dren.

Contacto relleno estructura

En lo relacionado con este tema, Pekhtin et al presentaron un artículo en el que se describe la presa de Boguchany formada por una presa de hormigón de 96 metros de altura y una presa de materiales sueltos con núcleo de hormigón asfáltico. La conexión entre ambas presas es la zona más crítica de la estructura. Los requisitos básicos del contacto son garantizar la impermeabilidad y permitir movimientos independientes entre las presas tanto durante la construcción como durante

la explotación de la presa. Para conseguir este objetivo se efectuaron dos llaves (o teclas) en forma de U en la zona de contacto y un pozo con un diámetro de 1.020 mm en la zona de contacto correspondiente al núcleo de hormigón asfáltico. El pozo fue rellenado con mástic bituminoso para permitir los movimientos diferenciales entre presas.

Akira Nakamura et al presentaron un artículo en el que se evalúa el comportamiento dinámico del contacto existente en la presa de Chubetsu (Japón). Esta presa está formada por una presa de gravedad de 86 metros y una presa de materiales sueltos con núcleo de arcillas de 78,5 metros de altura. El contacto entre las dos estructuras se realiza según un plano con talud 1H:0,7V. Para efectuar el estudio se utiliza un programa de análisis numérico en tres dimensiones. Los resultados ponen de manifiesto que las zonas de tracción en el contacto así como las zonas en las que se produce deslizamiento sólo se encuentran cerca de los extremos de aguas arriba y aguas abajo en el contacto pero no son continuas en la dirección aguas arriba-aguas abajo por lo que la impermeabilidad del contacto no queda dañada por la acción del sismo.

Mjid Ferhan et al presentan el estudio de la presa de Oued Martil en Marruecos. Se trata de una presa CFRD de 90 metros de altura que cuenta con una torre de toma de 105 metros de altura y una galería con diámetro interior de 3 metros que forma el plinto de la presa y desde la que se realizan las inyecciones de impermeabilización. Esta galería está anclada al cimient formado por alternancia de lutitas y areniscas. Adicionalmente, se decidió unir el plinto a la torre de toma. Esta disposición ha requerido el análisis de los riesgos asociados al acoplamiento de la pantalla de hormigón a las caras de la torre de toma debido a que los asentamientos diferenciales podrían romper la pantalla de hormigón por flexión excesiva. Para evitar este riesgo se ha introducido una junta en la zona de pantalla unida a la torre de toma.

Otakar Hrabovsky en el artículo remitido al congreso presenta el caso de un dique en el que el desagüe de fondo está formado por tuberías protegidas por una estructura de hormigón trapecial que atraviesa el dique. Debido a cambios en el medioambiente local las características del suelo en contacto con la estructura pueden cambiar. Este cambio crea las condiciones para la generación de 'camino' de filtración tras un llenado rápido del dique. En el artículo se propone una solución consistente en mantener el dique con un volumen constante de agua de tal modo que no varíen las características del material en el contacto con la estructura.

Presas de residuos mineros

La gestión de la seguridad de las presas/balsas de residuos mineros es complicado y es un reto para los propietarios porque estas estructuras presentan un riesgo potencial significativo. La aplicación de herramientas de análisis de riesgo ha ido implementándose y siendo aceptada por los propietarios para realizar la gestión de riesgo en este tipo de estructuras.

Malcom Barker y Alex Black presentan en su artículo la utilización de un método de análisis de riesgo para la ampliación de una presa de relaves en Australia. El procedimiento incluye el análisis de los modos de fallo, el análisis de frecuencia de avenidas, el cálculo del riesgo, la secuencia de análisis de riesgo, la comparación de la probabilidad del árbol de eventos y la evaluación de las consecuencias. La utilización de este método concluyó la adopción de medidas para incrementar la seguridad de la ampliación.

Ljupcho Petkovski y Stevcho Mitovski presentan un artículo en el que se describe una metodología para la planificación de presas de relaves. El procedimiento consta de cuatro pasos: 1) elección de los criterios pertinentes, 2) identificación de soluciones alternativas, 3) elaboración de las alternativas al mismo nivel de diseño y con la misma exigencia de seguridad, y 4) comparación de las alternativas de acuerdo a indicadores económicos. Este procedimiento se aplicó para la planificación de una balsa de residuos de 100 Mm³ en la República de Macedonia.

Joaquim Pimenta de Ávila et al presenta en su artículo un programa integral de gestión del riesgo geotécnico para una empresa minera. El programa, llamado 'Vale', abarca todas las actividades relacionadas con la gestión de riesgos: identificación de riesgos, análisis, evaluación y tratamiento. Los resultados obtenidos permite priorizar las actuaciones en función de la reducción de riesgo que producen.

Hanming Zhou et al presentan en su artículo un nuevo método (método *mold bag*, que podría traducirse como bolsa molde) para la construcción de presas de relaves finos. Se utilizan geotextiles de alta resistencia para coser bolsas continuas. Posteriormente las bolsas se rellenan con residuos finos mediante bombeo. En comparación con el método convencional esta metodología presenta ventajas tales como la velocidad de construcción, un rápido drenaje y una rápida consolidación, cuestiones importantes para balsas de relaves finos.

Evgeniy N. Bellendir et al presenta en su artículo los principios básicos para el diseño de presas de gran altura para la contención de rellenos hidráulicos, incluyendo cenizas, relaves y desechos industriales. Se presentan varios casos de este tipo de presas construidas en Rusia en las que se aplican estos principios. En función de las propiedades del material de relleno, se ha de prestar especial atención a los requisitos de estabilidad, filtraciones y deformaciones tanto durante la fase de proyecto como durante la fase de construcción y explotación. El seguimiento del comportamiento de este tipo de estructuras es fundamental en evaluación de la fiabilidad y la gestión de la seguridad.

Doina Popovici et al presentan en su artículo el análisis de riesgo de la presa Valea Sesei TMF situada en Rumanía. Esta es una presa de 70 metros de altura formada por rocas calizas en la que se han realizado 5 recrecimientos alcanzando actualmente una altura de 90 metros. En la presa se depositan los residuos procedentes de una explotación minera cercana.

Roger Knutsson et al proponen, en el artículo presentado, un método para la gestión de la seguridad de presas de residuos mineros en el que se combinan análisis numéricos y vigilancia en obra. Se menciona que el mejor método para la evaluación de la seguridad consiste en realizar simulaciones teóricas primero y, después, utilizar las medidas en obra para relacionar los valores obtenidos in situ con los obtenidos en la simulación teórica.

Sam Johansson et al presentan un sistema de auscultación en tiempo real de las filtraciones mediante fibra óptica. Este sistema se ha aplicado en presas de relaves en Suecia. Las medidas convencionales de filtraciones y presiones son puntuales, sin embargo, con este método se puede registrar información detallada de manera prácticamente continua a lo largo de una alineación.

Por último M. Cambridge redactó un artículo para el congreso en el que presenta las líneas generales del manual de diseño sostenible, operación y cierre de instalaciones de residuos mineros. Presenta también los antecedentes de la normativa europea sobre los movimientos de tierra y describe la forma en que ha sido adaptada para ayudar tanto a los organismos reguladores de la unión europea como a las partes involucradas de la industria minera europea. **ROP**