

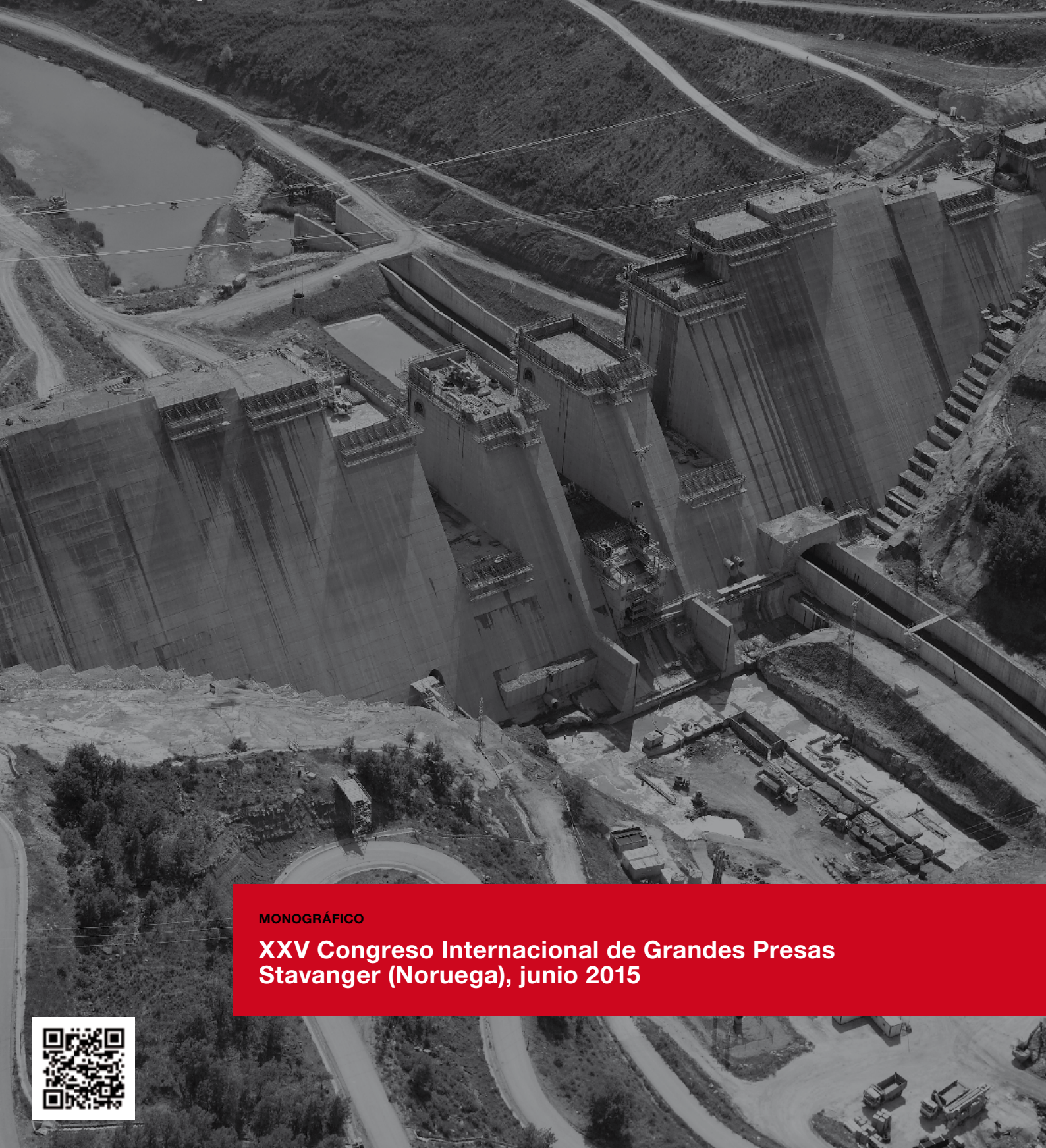


La revista de los
Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos

3577 JUNIO 2016

REVISTA DE
OBRAS PÚBLICAS

ROP



MONOGRÁFICO

**XXV Congreso Internacional de Grandes Presas
Stavanger (Noruega), junio 2015**

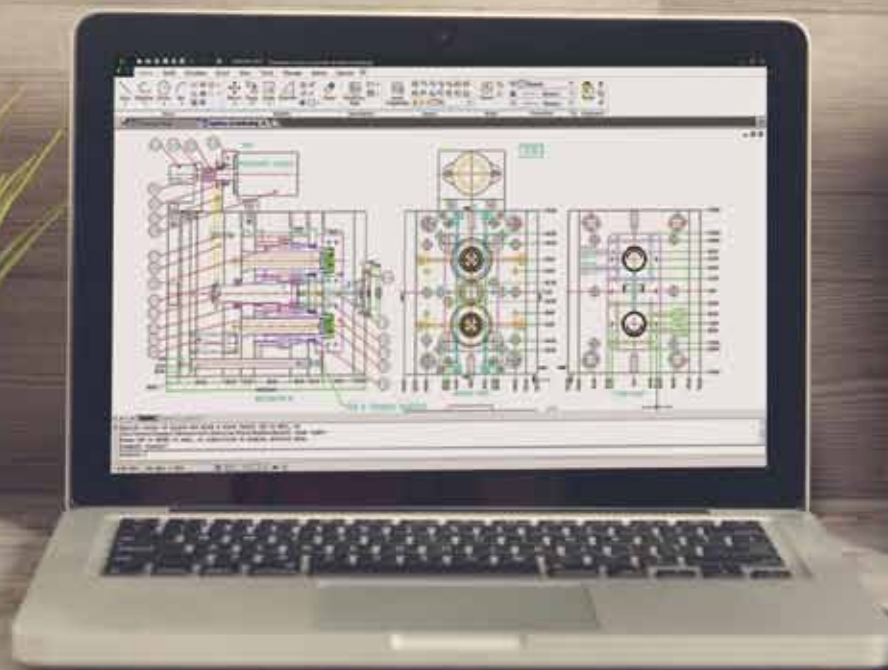


ZWsoft

Proveedor Internacional de CAD

Descargar
(Gratis)
www.zwsoft.com

Consultar Precio
sales@zwsoft.com



ZWCAD Design Great

www.zwsoft.com

¿Qué es ZWCAD?

ZWCAD es un software CAD rentable y totalmente compatible con el formato .dwg, para crear, editar y modelar.

Contáctenos y nuestro socio en España le ofrecerá la mejor solución.

¿Por qué elegir ZWCAD?

- Totalmente Compatible con DWG
- Flujo de Trabajo Flexible entre Dispositivos Móviles y de Escritorio
- Licencia Permanente sin Suscripciones ni Cuotas

¡La Tercera Generación del Producto ZWCAD 2017 Está a Punto de Llegar!



El presente número monográfico de la Revista de Obras Públicas tiene como eje vertebrador el XXV Congreso de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD) celebrado en junio de 2015 en Stavanger (Noruega). En torno a ese eje, y al igual que en anteriores monográficos de la ROP sobre congresos de ICOLD, se aprovecha la oportunidad para inventariar las actuaciones realizadas en materia de presas en España durante los últimos años, concretamente en el sexenio 2009-2015. Y al igual que en anteriores monográficos también se hace un repaso a la actividad internacional realizada por SPANCOLD desde el anterior Congreso de ICOLD, celebrado en 2012 en Kioto.

En los artículos referidos a las cuestiones tratadas durante el Congreso se ofrece una visión muy completa de los temas expuestos en el Congreso. Siendo prácticamente imposible abarcar en profundidad en el espacio disponible para un artículo las aportaciones realizadas, los autores desgranar para cada una de las cuestiones que formaron parte del Congreso información sobre los países participantes, el estado del arte de las cuestiones tratadas y la aportación española en cada una de ellas. Asimismo la lectura de dichos artículos transmite de manera fiel los conceptos que alcanzaron mayor protagonismo en el desarrollo de las diferentes sesiones. Así, en el artículo referente a la Q96, Innovación en el uso de presas y embalses destaca la búsqueda de soluciones a la problemática derivada del aumento de la demanda energética y del consumo de agua (fundamentalmente de regadío) y los problemas añadidos que puede generar el cambio climático. En el caso de la Q97, bajo el título genérico de Aliviaderos se presentaron trabajos relativos al aumento de la capacidad de los mismos, así como

a mejorar la seguridad y fiabilidad de estos órganos vitales para la presa. En la Q98, Presas de tierra y balsas de residuos mineros se trataron soluciones innovadoras a los fenómenos que pueden amenazar la seguridad de estas presas; Por último, la Q99 Mejora y reingeniería de las presas existentes trata un tema de máxima actualidad para las grandes presas españolas, dado que cuentan con una edad media próxima a los cincuenta años.

Otro de los elementos principales de este número es la figura del eminente ingeniero de presas y primer presidente español de ICOLD, José Torán Peláez, dado que este año se conmemora el centenario de su nacimiento. Por ello se dedica un artículo a glosar su excepcional figura y otro al Premio a la Innovación, que lleva su nombre, para trabajos científicos y técnicos que aporten tecnologías innovadoras en materia de presas y embalses, cuya 8ª convocatoria se ha fallado este año.

Cierra el número el artículo sobre sostenibilidad de presas y embalses desde la triple vertiente del concepto: ambiental, social y económica. El cambio climático y la recientemente celebrada COP21 justifican plenamente su inclusión, destacándose el buen hacer del Comité Técnico de Actividades del ingeniero en planificación de recursos hidráulicos del SPANCOLD en el campo del desarrollo sostenible.

Eduardo Echeverría García

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Secretario técnico de SPANCOLD.

Coordinador del Monográfico

SUMARIO

**La revista decana de la
prensa española no diaria**

Director
Antonio Papell

Redactoras Jefe
Paula Muñoz
Diana Prieto

Fotografía
Juan Carlos Gárgoles

Publicidad
MM Mass Media
Hermosilla 64 6ºB
T. 91 431 08 39

Imprime
Gráficas 82

Depósito legal
M-156-1958

ISSN
0034-8619

ISSN electrónico
1695-4408

ROP en internet
<http://ropdigital.ciccp.es>

Suscripciones
[http://ropdigital.ciccp.es/
suscripcion.php](http://ropdigital.ciccp.es/suscripcion.php)
suscripcionesrop@ciccp.es
T. 91 308 19 88

Edita
Colegio de Ingenieros de
Caminos, Canales y Puertos
Calle Almagro 42
28010 - Madrid

PRESENTACIÓN

CONGRESO ICOLD DE STAVANGER

-
- | | |
|---|---|
| 6 | Presentación
José Polimón López |
|---|---|
-
- | | |
|---|--|
| 8 | De Kioto 2012 a Stavanger 2015
Luis Berga Casafont |
|---|--|
-
- | | |
|----|---|
| 18 | José Torán Peláez. Su vida profesional
Alberto Herreras |
|----|---|
-
- | | |
|----|---|
| 28 | Premio José Torán
Alfredo Granados Granados |
|----|---|
-
- | | |
|----|--|
| 34 | Inventario de presas españolas
Número, construcción, puesta en carga y presas
en explotación en el sexenio 2009-2015
Juan Carlos de Cea y María José Mateo |
|----|--|



-
- 46** **Q96. Innovación en el uso de presas y embalses**
F. Javier Baztán Moreno
-
- 66** **Q97. Aliviaderos**
Alfredo Granados García
-
- 82** **Q98. Presas de tierra y balsas de residuos mineros**
Antonio Soriano Peña y Antonio Soriano Martínez
-
- 92** **Q99. Mejora y reingeniería de las presas existentes**
Fernando Girón e Ismael Reviriego
-
- 102** **Presas y sostenibilidad**
Antonio Burgueño

Consejo de Administración

Presidente

Miguel Aguiló Alonso

Vocales

Juan A. Santamera Sánchez
José Manuel Loureda Mantiñán
José Javier Díez Roncero
Juan Guillamón Álvarez
Luis Berga Casafont
Roque Gistau Gistau
Benjamín Suárez Arroyo
José Antonio Revilla Cortezón
Francisco Martín Carrasco
Ramiro Aurín Lopera

Comité Editorial

Pepa Cassinello Plaza
Vicente Esteban Chapapriá
Jesús Gómez Hermoso
Conchita Lucas Serrano
Antonio Serrano Rodríguez

Foto de portada

Presa de Castrovido (Burgos)



Presentación



José Polimón López

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Presidente del Comité Nacional Español de Grandes Presas (SPANCOLD)

Vicepresidente de la International Commission on Large Dams (ICOLD)

El Comité Nacional Español de Grandes Presas (SPANCOLD) comenzó, hace ya 56 años, esta colaboración con la Revista de Obras Públicas para transmitir las tecnologías e innovaciones expuestas en los Congresos de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD) a la comunidad científica y técnica relacionada con las Presas.

Esta labor de difusión se completa con la celebración de la Reunión Anual de SPANCOLD sobre Innovación y Tecnología internacional en Presas y Balsas, en la que se presentan los aspectos técnicos y científicos más novedosos procedentes de los Comités Técnicos de ICOLD y también de los comités espejo existentes en SPANCOLD. En el pasado mes de febrero de 2016 ha tenido lugar la quinta de estas Reuniones Anuales y las interesantes presentaciones hechas en ella se pueden ver en la web www.spancold.es

Continuando con esta línea de transmisión de conocimiento que constituye un objetivo fundamental de SPANCOLD se presentan en este número los informes sobre las cuatro cuestiones analizadas en el Congreso celebrado en Stavanger (Noruega) el pasado mes de junio de 2015.

Los días anteriores a cada Congreso, se celebra también la Reunión Anual de ICOLD, en la que los Comités Técnicos internacionales debaten los problemas asignados a cada uno de ellos, que dan lugar a avances técnicos y posteriormente a la publicación de los Boletines en los que se plasma el estado del arte de los diferentes aspectos tratados y las soluciones recomendadas para la buena práctica en las distintas fases del ciclo de vida de las presas.

En estas reuniones se están teniendo muy en cuenta dos de los mayores retos actuales relacionados con el agua y la energía: los efectos del cambio climático global, que aconseja aumentar la capacidad de almacenamiento de agua, y

la necesidad de disponer de un suministro de energía fiable y renovable, entre las que la hidroeléctrica regulada y los proyectos reversibles de almacenamiento de energía aumentan su importancia, tanto en países desarrollados como en los países en desarrollo.

Contenido

Este número comienza con la presentación del Año Torán que se complementa con el artículo sobre el Centenario del nacimiento en Teruel del insigne ingeniero José Torán Peláez escrito por su colaborador de muchos años José Alberto Herreras Espino, que fue el primer secretario técnico de SPANCOLD.

Luis Berga muestra la actividad en el sector entre Congresos en su ya clásico “De Kioto 2012 a Stavanger 2015”, con referencia a la participación de ICOLD en el importante World Water Forum 7 que tuvo lugar en Corea en abril de 2015 y a los dos Simposios de Presas HCR/RCC, organizados por CHINCOLD y SPANCOLD, celebrados en Zaragoza (octubre de 2012) y Chengdu (septiembre de 2015).

En el artículo siguiente Alfredo Granados Granados describe los aspectos más notables de la 8ª Convocatoria del Premio José Torán a la innovación en Presas, que ha sido fallado recientemente a favor del excelente trabajo presentado por Carmen Mª Baena Berrendero.

En este número se recupera un artículo tradicional como es el Inventario de Presas en España con las que han sido puestas en operación en los últimos años, Son autores son Juan Carlos de Cea Azañedo y Mª José Mateo del Horno.

Las cuatro cuestiones desarrolladas en Stavanger se han dedicado a problemas de gran actualidad y sus títulos y autores de los artículos correspondientes son:



Asistentes al Congreso de Stavanger

- Q.96. *Innovation in utilisation of dams and reservoirs*. Javier Baztán Moreno.

- Q.97. *Spillways*. Alfredo Granados García.

- Q.98. *Enbankments and tailing dams*. Antonio Soriano Peña y Antonio Soriano Martínez.

- Q.99. *Upgrading and re-engineering of existing dams*. Fernando Girón Caro e Ismael Reviriego Vasallo.

Agradecemos a los autores de estos artículos la excelente labor de síntesis realizada a partir de la documentación recibida y de las presentaciones y debates del Congreso.

Se completa esta panorámica de la tecnología de presas con un resumen del documento “Sostenibilidad de Presas y Embalses” que ha preparado el Comité Técnico de SPANCOLD, “Actividades del Ingeniero en planificación de recursos hidráulicos” que preside Antonio Burgueño Muñoz. Este documento recoge los trabajos de dicho Comité que se han plasmado en una serie de tres jornadas técnicas dedicadas a los aspectos económicos, ambientales y sociales de la sostenibilidad.

SPANCOLD agradece nuevamente la magnífica y constante colaboración de la Revista de Obras Públicas a esta importante labor de difusión de conocimiento científico y de tecnologías e innovaciones en el campo de la ingeniería civil hidráulica.

Año Torán

El Comité Nacional Español de Grandes Presas (SPANCOLD) ha aprobado, en el Pleno celebrado el pasado 15 de diciembre de 2015, que el presente año se dedique a rendir homenaje al insigne ingeniero José Torán Peláez de cuyo nacimiento en Teruel se cumplen 100 años. Por ello, 2016 es el Año Torán.



José Polimón y Juan Carlos de Cea

A lo largo del Año Torán se celebrarán una serie de actividades que se plasmarán en jornadas, artículos y encuentros. El primero de los actos ha consistido en el anuncio de este homenaje hecho por los presidentes del Colegio de Ingenieros de Caminos y de SPANCOLD en la apertura de la V Jornada Anual de SPANCOLD, celebrada el pasado 3 de febrero, que se ha completado con la conferencia sobre José Torán a cargo del ingeniero e historiador Fernando Sáenz Ridruejo.

El segundo es, como queda dicho, el artículo de José Alberto Herreras, “José Torán Peláez, su vida profesional”, en el que recuerda la trayectoria de Torán como ingeniero de grandes presas, como impulsor del Comité Español primero y de ICOLD después, organizaciones ambas que presidió y a las que dio una mayor apertura en tiempos muy difíciles. Pero tuvo además una fuerte presencia en proyectos muy diversos en los que dejó claras muestras de su impronta y de su singular personalidad.

A lo largo de este Año Torán se irán anunciando otros actos, organizados con la colaboración del Colegio de Caminos, entre los que se encuentran un acto en Teruel, con la Demarcación de Aragón, y otro en la Presa José Torán próxima a Córdoba con la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

Torán fue el representante más conocido de las generaciones de ingenieros que tuvieron la visión y la responsabilidad que condujo a que en España se pusieran en operación, entre los años 1950 y 2000, las 1.000 presas que han sido el motor del cambio económico y social que ha hecho que España haya pasado, por ejemplo, de ser un país con carencia de productos agrarios a ser uno de los mayores exportadores mundiales de productos hortofrutícolas. Las mismas 1.000 presas que ayudan a paliar los efectos desastrosos de las sequías e inundaciones actuales y de las que, de acuerdo con las previsiones del cambio climático, se producirán con mayor frecuencia en el futuro. **ROP**

De Kioto 2012 a Stavanger 2015



Luis Berga Casafont

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Presidente honorario de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD)

Resumen

En este artículo se presenta una síntesis de las actividades desarrolladas por ICOLD durante los años 2012-2015, haciendo una mención especial al 7º Foro Mundial del Agua en Corea del Sur, a los Simposios Internacionales de Presas de Hormigón Compactado con Rodillo (HCR), al desarrollo de las presas y la producción hidroeléctrica y al mensaje del presidente de ICOLD, Adama Nombre, durante este periodo.

Palabras clave

ICOLD, SPANCOLD, presas, agua, energía hidroeléctrica

Abstract

In this paper a synthesis of the activities of ICOLD during the period 2012-2015 is presented, making a special mention to the 7th World Water Forum of South Korea, to the International Symposiums of Roller Compacted Concrete (RCC) dams, to hydropower and dams, and to the message of the ICOLD President, Adama Nombre, during this period.

Keywords

ICOLD, SPANCOLD, dams, water, hydropower

La Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD) es un gran equipo, con 96 países miembros y con un total de más de 10.000 miembros individuales. Se prevé que supere los 100 países en los próximos años. La base técnica de ICOLD se fundamenta en sus 25 comités técnicos, que reúnen a unos 500 expertos de todo el mundo, y que han publicado unos 165 boletines técnicos. En estos comités técnicos participan representantes de los países miembros de ICOLD y España está representada en la mayor parte de ellos. Para ello, el Comité Nacional Español tiene los correspondientes comités técnicos. La participación en estos comités de SPANCOLD está abierta a todos los profesionales –y desde aquí quiero hacer una llamada para que los ingenieros interesados en el campo de las infraestructuras hidráulicas y de las presas se integren en estos comités, para poder intercambiar con otros expertos internacionales conocimientos científicos y técnicos así como para mostrar las experiencias y realidades españolas en el campo de las grandes presas–. Para los jóvenes interesados en esta materia es el mejor camino para progresar en los campos de la ingeniería del agua y de las grandes presas. Asimismo, para conocer y seguir el estado del arte en la ingeniería de presas, recomiendo la consulta y lectura de los boletines de ICOLD. Con el fin de facilitar su difusión, ICOLD los distribu-

ye, en su mayor parte, de manera gratuita en su página web (<http://www.icold-cigb.net>).

Desde el Congreso de ICOLD de Kioto (Japón) en junio del 2012 hasta el Congreso de Stavanger (Noruega) en junio del 2015 (fig. 1).



Fig. 1. Congresos de ICOLD. Kioto (2012) y Stavanger (2015)

ICOLD ha organizado, colaborado y participado en innumerables congresos, simposios, *workshops* y otras reuniones internacionales y nacionales. Las reuniones anuales de ICOLD se celebraron en Seattle (EE. UU.) en 2013 y en Bali (Indonesia) en 2014. Ambos eventos contaron con alrededor de 1.000 participantes en cada reunión e importantes actividades técnicas.

En la Reunión Ejecutiva de ICOLD de Seattle se eligió al Dr. José Polimón, vicepresidente de ICOLD, para un periodo de tres años. Me consta de manera fehaciente el buen trabajo que el presidente de SPANCOLD está realizando en la organización y gestión de ICOLD, por lo que aprovecho estas líneas para darle mi más cordial enhorabuena.

En la inauguración del Simposio de la Reunión Anual de Bali, tuve el honor de pronunciar una '*key note*' sobre los 'Retos del almacenamiento de agua en la era de los cambios globales' en la que se concluía que, en el contexto de los cambios globales, las presas y embalses, junto con el aumento de las capacidades de almacenamiento de agua, son un imperativo mayor. El almacenamiento debe utilizarse como una herramienta en la gestión del desarrollo sostenible, minimizando los impactos socio-económicos y medioambientales. Las inversiones en la adaptación al cambio climático deben incorporar el almacenamiento de agua como una prioridad. Las infraestructuras y el almacenamiento de agua proporcionan beneficios importantes a la humanidad a través del regadío, suministro de agua potable para el consumo y la actividad industrial, saneamiento, producción hidroeléctrica, mitigación de las inundaciones, navegación, pesca y turismo. Para satisfacer las futuras demandas globales, para mitigar y adaptarse a los impactos del cambio climático y para alcanzar los Objetivos del Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas en 2030, será necesario incrementar significativamente las capacidades globales de embalse (del orden del 30 % de la capacidad actual de embalse) [1].

ICOLD mantiene excelentes y cordiales relaciones con nuestras organizaciones hermanas: ICID, IHA, WEC, IAHR, IWRA, IWALC y WWC. También está presente y colabora con numerosas organizaciones internacionales: ONU, Unesco, UE, WB, BEI, UE, ADB, BAD, Arab and Kuwait funds, Islamic Development Bank, Nepad, Coface, etc.

No es el momento aquí de describir con detalle las actividades de ICOLD durante estos tres años, pero sí quisiera hacer una mención especial, pero escueta, de algunas actuaciones destacadas. Para consultar otros antecedentes y una infor-

mación más detallada se pueden consultar las *newsletters* de SPANCOLD y de ICOLD [2-6].

7º Foro Mundial del Agua. Daegu, Gyeongbuk (Corea del Sur). 2015

Los Foros Mundiales del Agua son las reuniones internacionales con más participación y difusión en los temas relativos al agua. El VII Foro Mundial del Agua tuvo lugar en Daegu y Gyeongju en la República de Corea, del 12 al 16 de marzo del 2015, organizado conjuntamente por la República de Corea, el Consejo Mundial del Agua y las ciudades de Daegu y Gyeongbuk. El lema del Foro fue 'Agua para nuestro futuro'. La participación en el Foro supuso un nuevo récord con más de 40.000 asistentes, procedentes de 168 países del mundo.

El Foro se organizó alrededor de cuatro bloques básicos: Proceso Temático, Proceso Político, Proceso Regional, Proceso Científico y Tecnológico y, por último, Foro de los Ciudadanos.

El proceso temático, que constituye la columna vertebral del Foro, se estructuró en cuatro pilares básicos: 'Seguridad de agua para todos', 'Agua para el desarrollo y la prosperidad', 'Agua para la armonía sostenible de los humanos y de la naturaleza' y 'Construyendo mecanismos viables de implementación'. En el pilar sobre 'Seguridad de agua para todos', se ubicaban cuatro temas principales, entre los que cabe destacar aquí el tema 1.4: 'Infraestructuras para la sostenibilidad de la gestión de los recursos y servicios de agua y servicios' [7].

ICOLD ha venido colaborando activamente desde su fundación en el desarrollo de los Foros Mundiales del Agua [8]. En este Foro de Corea, ICOLD fue el coordinador general del tema 1.4, con siete sesiones, en las que participaron destacados miembros de ICOLD, que también se encargaron de coordinar algunas de las sesiones (fig.2).

La sesión 1.4.1 sobre '*Strategies and Planning for Sustainable Water Infrastructure Development: Laying Down the Foundation for Our Future*' fue coordinada por el Instituto Chino de Recursos de Agua e Investigación Hidroeléctrica (IWRH), y presidida por Jia Jinsheng, presidente honorario de ICOLD. En esta sesión tuvieron intervenciones destacadas A. Nombre (presidente de ICOLD), Jiao Yong (viceministro del Ministerio Recursos de Agua de China) y Thomas Bostick (comandante general y jefe de ingenieros del Army Corps of Engineers de EE. UU.), así como nuestro compañero Tomas A. Sancho, presidente de la Comisión del Agua, Energía y Medioambiente del Colegio de Ingenieros de Caminos.

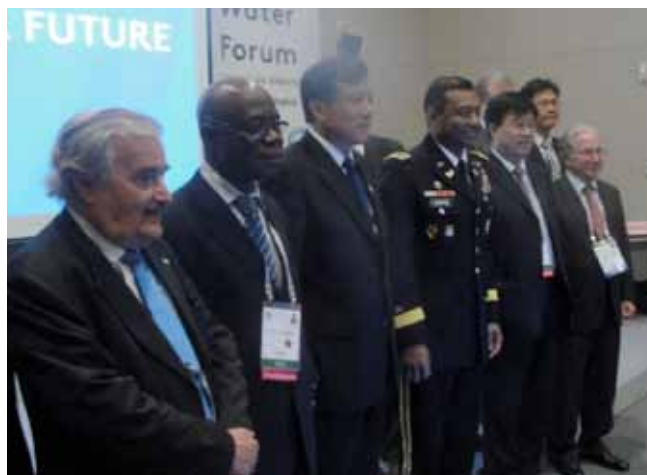


Fig. 2. Presencia de ICOLD en diversas sesiones del World Water Forum de Corea. De derecha a izquierda, José Polimón (vicepresidente de ICOLD y presidente de SPANCOLD), Jia Jinsheng (presidente honorario de ICOLD), Thomas Bostick (comandante general y jefe de ingenieros del Army Corps of Engineers de EE. UU.), Jiao Yong (viceministro del Ministerio de Recursos de Agua de China y vicepresidente de CHINCOLD), Adama Nombre (presidente de ICOLD) y Luis Berga (presidente honorario de ICOLD)



Fig. 3. José Polimón y Luis Berga en el 7º Foro Mundial del Agua. 2015

La sesión 1.4.2 sobre *'Water Storage Infrastructures for UN Sustainable Development Goals'* fue organizada por ICOLD, y presidida por A. Nombre. En ella intervinieron Jose Polimón, vicepresidente de ICOLD, con una presentación sobre *'Strategies to increase the storage capacity in the context of global change'* (fig.3), Luis Berga que presentó *'Water Storage and UN Sustainable Development Goals'* y Saeed Nairizi, presidente de ICID, sobre el *'Role of Water Storage for future needs of food'*.

En la sesión 1.4.3 sobre *'The Role of Water Storage on Climate Change Adaptation'*, coordinada por el State Hydraulic Works de Turquía (DSI) y el World Water Council (WWC), bajo la organización de D. Altinbilek, vicepresidente del WWC, A. Nombre participó como panelista.

En relación con las infraestructuras, las recomendaciones de Daegu-Gyeongbuk a los ministros fueron que las "infraestructuras de agua, incluyendo las presas, son unas herramientas para el desarrollo y gestión de los recursos hídricos. Es necesario que en la planificación y el desarrollo de las infraestructuras se alcance un balance entre los objetivos de las necesidades de agua y saneamiento, agricultura, energía, industria, mitigación de los riesgos, reducción de los desastres y sostenibilidad económica y medioambiental".

En conclusión, ICOLD ha tenido una presencia muy significativa en este Foro de Corea, en la organización del Foro y en la coordinación y desarrollo de diversos temas y sesiones. Creo que es muy importante la participación activa de ICOLD, y de sus comités nacionales, en estos Foros mundiales, para poder mostrar el papel de las presas y embalses en el desarrollo sostenible. En estos encuentros se lanzan recomendaciones y mensajes que sirven de guía para las políticas mundiales sobre el agua y su gobernanza, y se diseminan las visiones actuales para el desarrollo y gestión de los recursos de agua [8].

Simposios de Presas de Hormigón Compactado con Rodillo (HCR) y conferencias internacionales en China

ICOLD siempre ha colaborado y apoyado los Simposios Internacionales de Presas de Hormigón Compactado que organizan conjuntamente SPANCOLD y CHINCOLD. Estos simposios empezaron a celebrarse en el año 1991 en Pekín y siguieron los de Santander en 1995, Chengdu en 1999, Madrid en 2003, Guiyang en 2007, Zaragoza en 2012 y de nuevo Chengdu en 2015. Así, durante los últimos 25 años, de manera alternativa, China y España, dos países pioneros en las tecnologías de HCR, han unido esfuerzos y tomado la responsabilidad de juntar a los expertos mundiales en el tema para promover y diseminar los avances y experiencias en este tipo de presas.

En el Simposio de Zaragoza asistieron el entonces presidente de ICOLD, Adama Nombre, y el presidente honorario de ICOLD, Jia Jingsheng. Para más detalles de este evento, pueden consultarse las diversas publicaciones sobre su desarrollo y resultados [9-11].

En noviembre del 2013, CHINCOLD organizó, con la colaboración de ICOLD, la reunión sobre Hydropower 2013 en Kunming. Con motivo de esta visita tuve la oportunidad de reunirme en Pekín con CHINCOLD y su comité de dirección, presidido por Wang Shucheng, antiguo ministro de recursos hidráulicos de China. Una vez más me expresaron su apoyo a ICOLD y también la renovación de la amistad con SPANCOLD a través del convenio de colaboración suscrito. Durante esta estancia impartí en nombre de ICOLD dos conferencias: una en el Instituto de Recursos de Agua e Investigación Hidroeléctrica (IWHR) sobre *'Role of storage in Integrated flood management'* y otra en la célebre Universidad Quinhua de Pekín sobre *'Challenges of water storage in climate change mitigation and adaptation'*.

En septiembre del 2015, tres meses después del Congreso de Stavanger tuvo lugar el 7º Simposio Internacional sobre presas de HCR (RCC). Por ello, me atrevo a incluirlo en esta breve reseña entre congresos de ICOLD. El simposio se celebró en Chengdu y como siempre en estos eventos estaba organizado por CHINCOLD y SPANCOLD con la colaboración de ICOLD. Antes de desplazarnos a Chengdu, la delegación de SPANCOLD (formada por Rafael Ibáñez de Aldecoa, Juan Carlos de Cea y Luis Berga) se reunió con el comité chino en Pekín. A dicha reunión asistieron por parte de CHINCOLD su presidente, Wang Shucheng, exministro de Recursos Hídricos de China, Lu Youmei, presidente honorario de CHINCOLD e ingeniero que organizó el proyecto y construcción de la presa de las Tres Gargantas, y Jia Jinsheng, secretario general de CHINCOLD, presidente honorario de ICOLD y vicepresidente del Instituto de Recursos de Agua e Investigación Hidroeléctrica (IWHR), junto con otros miembros de CHINCOLD (fig.4).



Fig. 4. Reunión entre la delegación de SPANCOLD y CHINCOLD en Pekín. Septiembre 2015

El 7º Simposio de HCR de Chengdu mostró la fuerte consolidación de los simposios de HCR que suponen el punto de referencia de las presas de HCR con la publicación de más de 800 artículos, que han contribuido significativamente a la mejora de la tecnología del HCR y a su difusión a través del mundo. Al simposio asistieron unos 600 participantes, procedentes de 20 países. Se analizaron y discutieron los temas relativos al estado actual de las presas de HCR, a los materiales, mezclas, diseños estructurales, control de calidad, explotación, y a las aplicaciones de nuevas tecnologías de presas de HCR (fig.5) [12-14].

Después del Simposio de Chengdu, la delegación de SPANCOLD realizó una visita al proyecto hidroeléctrico de Jinping, que se encuentra en el río Yalong, un tributario de la margen



Fig. 5. Ceremonia inaugural del Simposio de HCR. Chengdu. Septiembre 2015



Fig. 6. Esquema de la situación de las centrales hidroeléctricas de Jinping. Río Yalong

izquierda del río Yangtsé. En este tramo el río transcurre por una gran curva, de unos 150 km, con un desnivel de 310 m en su tramo más estrecho de 17 km. En estos puntos más cercanos se han construido dos presas con sus centrales hidroeléctricas, la Jinping I de 3.600 MW, y la Jinping II con 4.800 MW, que se alimenta a través de un túnel de 17 km, cuya toma está aguas debajo de la central de la Jinping I (fig. 6 y fig. 7) [15].

Presento aquí esta breve reseña debido a que la presa Jinping I es la más alta del mundo en operación, con 305 m (fig.8).

La presa es de tipo bóveda de doble curvatura (VA), con una longitud de coronación de 568,6 m que crea un embalse de capacidad total de 7.760 Hm³. En la construcción del sistema hidroeléctrico Jinping I se han colocado unos 7,4 millones de m³ de hormigón, de los que 4,8 millones corresponden a la presa (fig. 9 y fig. 10).

Presas y producción hidroeléctrica

La hidroelectricidad es una energía renovable que contribuye significativamente a la reducción de emisiones de gases con efecto invernadero, y por lo tanto a mitigar el calentamiento

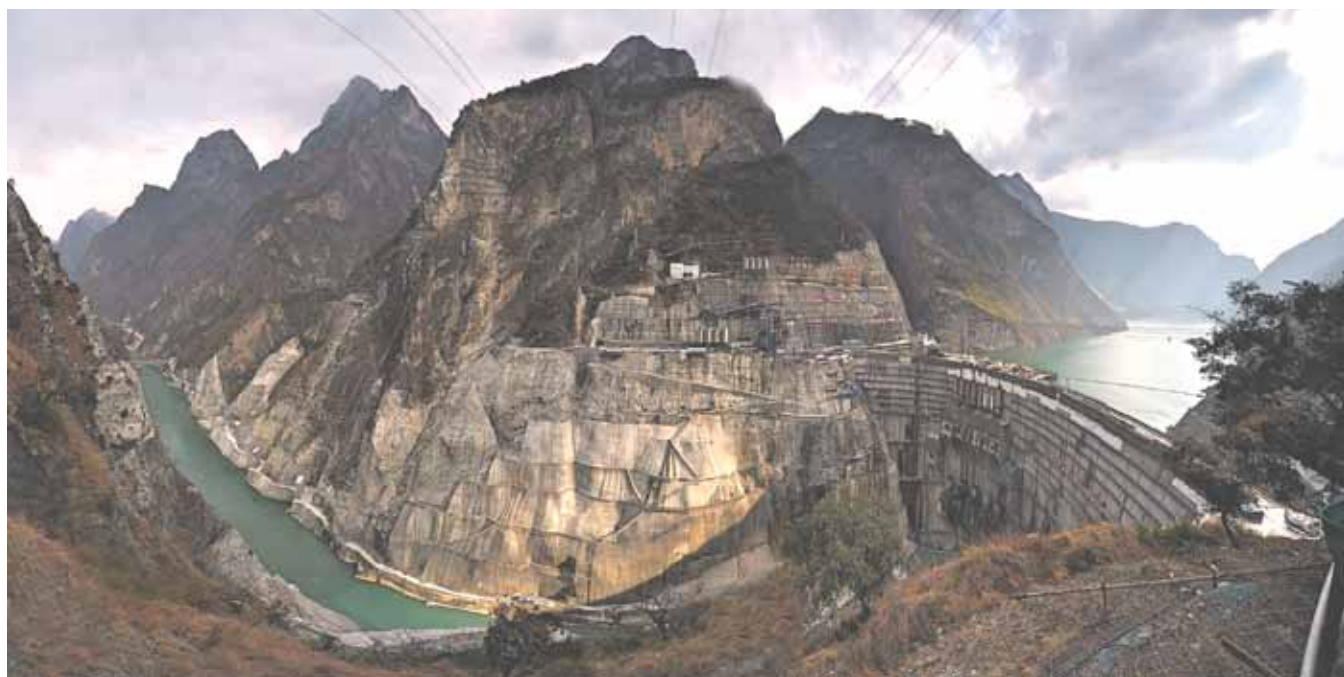


Fig. 7. Vista general de la presa de Jinping I, en la curva del río Yalong

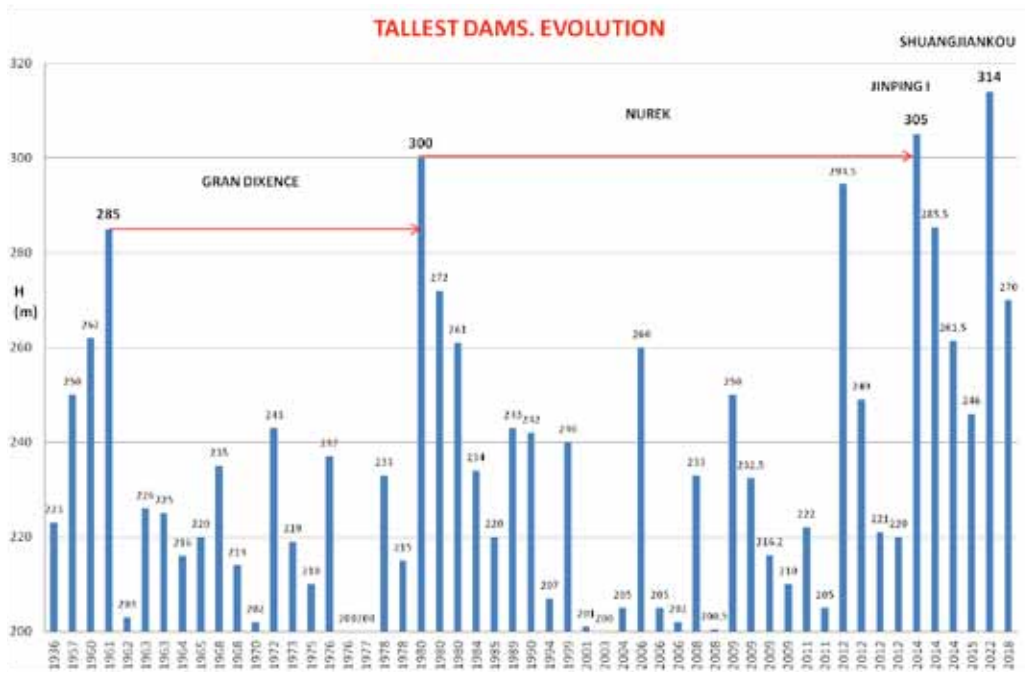


Fig. 8. Evolución de la altura de las presas de h>200 m. 1936-2022



Fig. 9. Vista de la presa de Jinping I desde aguas abajo



Fig. 10. La delegación de SPANCOLD en la coronación de la presa de Jinping I

global. Es una energía limpia que produce una media anual de 3.930 TWh/y (2015), lo que representa el 16 % de la generación eléctrica mundial, y constituye alrededor del 78 % de la generación mediante energías renovables. La capacidad hidroeléctrica instalada es de 1.060 GW (principalmente en Asia, Norteamérica y Latinoamérica). En la actualidad, hay un gran auge en la construcción de nuevas centrales hidroeléctricas, así como unas perspectivas de expansión

importantes. En total, hay unas 3.700 presas hidroeléctricas en desarrollo, de las que 629 (17 %) están en construcción, y 3.071 en diversas fases de planificación, principalmente en el sudeste asiático, Sudamérica, África y en diversas zonas de los Balcanes y del Cáucaso (fig. 11). Las previsiones son que estas presas, localizadas en 102 países, incrementarán la capacidad mundial hidroeléctrica en unos 700 GW, un 70 % de la capacidad actual. Las inversiones previstas son de unos 2.000 B\$.

ICOLD, desde su creación, ha impulsado el desarrollo de la producción hidroeléctrica y desde hace años colabora estrechamente en la organización de las conferencias que organiza Hydropower and Dams (www.hydropower-dams.com). Actualmente, estos eventos, debido a la gran expansión de las centrales de producción de energía y de las centrales de bombeo reversible, están adquiriendo una gran relevancia y reúnen a unos 1.300 participantes en sus reuniones europeas. En estos tres años, los 'Hydro' se han celebrado en Bilbao en 2012 –con la colaboración de SPANCOLD–, Innsbruck (Suiza) en 2013 y Cernobbio (Italia) en 2014. También se organizan, con el soporte de ICOLD, de manera alternativa cada dos años las conferencias en Asia y África, que versan sobre el desarrollo de los recursos de agua y de la producción hidroeléctrica en estas regiones. En 2013 ha sido en Addis Abeba (Etiopía), y en 2014 en Colombo (Sri Lanka).

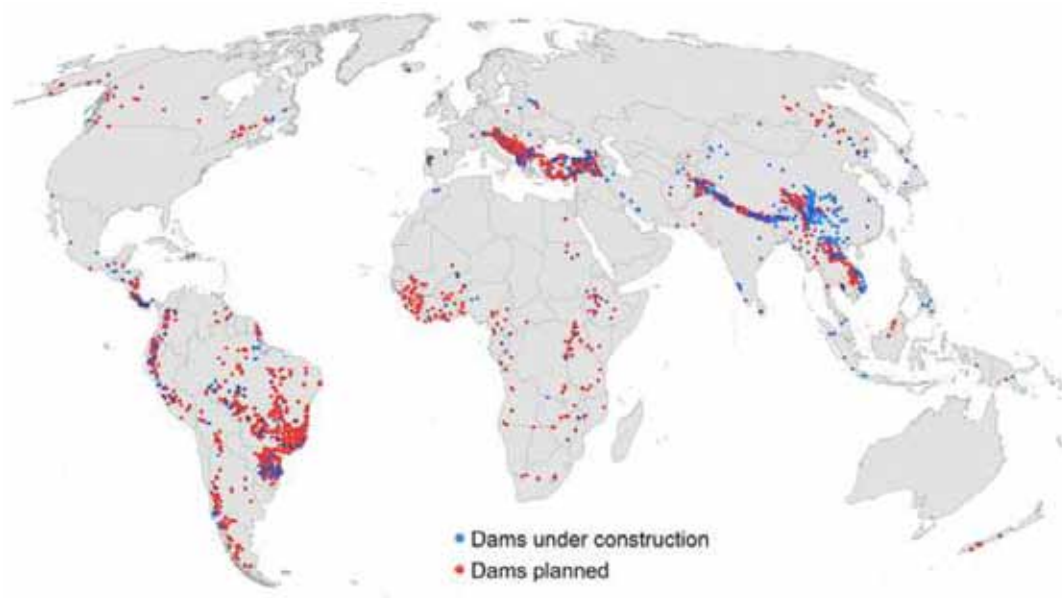


Fig. 11. Localización de las presas hidroeléctricas en construcción y en diversas fases de planificación

Mensaje del presidente de ICOLD. 2012-2015

Durante este periodo, ICOLD ha estado presidida por Adama Nombre, de Burkina Faso. Este ingeniero es un buen amigo de España así como del Comité Nacional Español de Grandes Presas y ha realizado varias visitas técnicas a nuestro país.

El presidente Nombre ha tenido la amabilidad de enviarnos al final de su mandato un breve mensaje para esta publicación de SPANCOLD [16], que transcribo a continuación:

2012-2015: Working to advance the art and science of Dam engineering and to adapt the profession to the requirements of the 21st Century Adama Nombre. Honorary President of ICOLD.

During the period of 2012 to 2015 we have had the honor and the privilege to lead the International Commission on large Dams (ICOLD) as President. With the support of ICOLD Board and the precious work of the ICOLD technical committees and National committees and the wise advices of ICOLD honorary presidents and Past vice presidents, this period was devoted to consolidate the work done by our predecessors to strengthen ICOLD and adapt its structure and functioning to the new context and international environment, to advance the art and science of Dams and associated hydraulic structures and to join and act as an important stakeholder within the international Water and Energy community. The important achievements and progresses can be summarized as following:

- *ICOLD is today a well-established, prestigious and dynamic organization.*

ICOLD, despite its mature age, has still been growing at a significant pace during these last decades. Membership has increased from 81 countries in 2000 to 96 in 2014, making it a truly global professional association.

The adoption of a new Constitution and Bylaws in 2011 provided the means for modernization of the internal structure and functioning of ICOLD, and also its capacity to adapt to fundamental trends and changes at the international level. An action plan has also been prepared and adopted by the Board for a better planning, implementation and follow up of ICOLD activities.

ICOLD Technical Committees are very active, and are producing a vast, up-to-the-date knowledge base for the profession. The Technical Committees are producing more bulletins to provide guidance for the profession on various aspects relating to dams and appurtenant structures, including social and environment aspects. The introduction of knowledge transfer workshops within the activities of the Technical Committees is very favorable for the dissemination of knowledge, and also for capacity building.

The ICOLD Regional Clubs are very active in addressing regional issues, disseminating the work of ICOLD, and preparing for the creation of ICOLD National Committees at regional level. The European Club, the Asia-Pacific Club, The Africa Regional Club and the ICOLD National Committees of the Americas (INCA) are key tools for the development of ICOLD in these regions, and their activities are attracting more and more professionals. They are also acting as regional stakeholders of the Engineering community at these levels to convey ICOLD views, messages and contribution for the solution to water food energy and drought and floods management.

I will not forget to mention our National Committees, the core of ICOLD, the number, vitality and functioning of which are continuously improving. I am grateful to their leaders for the important role they are playing in the development of our profession in their respective countries, and for their contributions to reinforcing our organization on a sound basis.

The future, the image and the sustainability of our profession has been elevated to a higher level over the past decade, providing a bridge between the generations of professionals, and creating a better environment to attract more young professionals. The Young Engineers' activities began in Lucerne on 2011, and since then have developed well, with increasing attendance and the creation of the Young Engineers' Forum, supported by many National committees. A new award for Innovation in Dams under preparation will provide the scope to attract more and more young and brilliant people to our profession worldwide, and the new era of dam development will provide them with a unique opportunity.

- *ICOLD has advanced the science and technology for modern dams.*

One of the main achievements of ICOLD is the important improvement in dam safety. Since the 1980s, the probability of catastrophic failure of large dams has been reduced very substantially, despite the strong and sometimes catastrophic earthquakes experienced during this period. This is the result of significant advances in dam engineering, and improvements in management, including the implementation of emergency plans by increasing numbers of owners and operators in many countries based on ICOLD and others relevant institutions works.

Another important achievement relates to the assessment and management of environmental and social impacts of large water infrastructure. Modern dams are generally well planned, well designed, well implemented and well operated and maintained. The need for multipurpose storage to address the emerging requirements and needs are also been emphasized in ICOLD recent activity and supported by the creation of a devoted Technical committee.

Much progress has been achieved in dam technology, materials and typology, for example with the development of RCC, CFRD, cementitious materials for dams, and CSG dams. There have also been improvements in the capacity to handle large floods, with progress in spillway technology and design, flood evaluation and forecasting; and, progress in designing dams to withstand major earthquakes and other natural hazards.

Another important advance is the ability to design, build and operate very high dams, with a tremendous potential for hydropower production. The development of this type of dam has led to increased knowledge of material behavior, in relation to withstanding high stresses and pressures, and this has resulted in substantial progress and innovative designs.

With the increasing number of members in the developing countries, as well as the challenges the profession is facing in upgrading and reengineering projects in developed countries which are no longer building a lot of new dams, the need for capacity building is becoming an increasingly important concern for ICOLD. Since 2006, many activities have taken place in this respect, and a full committee has been established for this purpose. Since 2006, hundreds of professionals from ICOLD National Committees in developing countries, mainly in Africa, have benefited from on-the-job training, as well as technical tours in Turkey, China, and Morocco. These have strengthened cooperation within ICOLD, and helped to develop new National Committees. Some ICOLD national committee such SPANCOLD have developed courses for dam safety management with a real success for engineers and dam professionals.

- ICOLD is an active member of the international community.

Our profession exists to serve mankind, and we need to understand better the evolving trends at international level; we also need to convey the vision of the profession to the international community and in all media and forums where the future of water and energy policy is shaped

ICOLD is today a consultative member of the UN and many initiatives for cooperation with key international organization are progressing well. ICOLD, now 87 years old, is an organization with plenty of vitality, still achieving much progress and many developments, and this indicates a great future for our profession. During the past decades, ICOLD has been experiencing rapid growth, a strengthening of its structure and a good perspective on sustainability, with the involvement of young engineers who help to achieve new technological and scientific progress in dam engineering.

I would like to take the opportunity of this brief on ICOLD activity for the period 2012 to 2015, to express my gratitude to SPANCOLD and its Charismatic leaders ICOLD Honorary President Prof Luis BERGA CASAFONT, ICOLD Vice President Jose POLIMON and all the board and members of

SPANCOLD for their strong support and precious contribution for the achievements during my office. I would like to take this opportunity to make a special mention on the dynamism of the Dam and water profession in Spain and for its contribution to the advancement of the art and science of Dams and for building ICOLD knowledge base and strengthening. I would like to highlight the humanism and friendship of my colleagues of Spain a country with long and rich culture. **ROP**

Referencias

1. BERGA, L. 2014. *Dams for sustainability in the global challenges era*. Key Note. Opening International Symposium on "Dams in Global Environmental Challenges". 82nd ICOLD Annual Meeting. Bali.
2. SPANCOLD. Boletín Trimestral de SPANCOLD. (SPANCOLD Newsletter). www.spancold.es
3. INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. ICOLD. Newsletter. www.icold.cigb.org
4. BERGA, L., JINSHENG, J. 2009. *ICOLD's main activities and future challenges*. Hydropower & Dams Issue Four, 52-56.
5. JIA JINSHENG. 2012. *Joint efforts for better development of dams and reservoirs*. Hydropower & Dams Issue Four. 27-34.
6. NOMBRE, A. 2012. *Building on ICOLD's strengths, and facing futures challenges*. Hydropower & Dams Issue Four. 33-34.
7. 7th WORLD WATER FORUM. 2015. PROGRAM BOOK.
8. BERGA, L. 2009. *Dams and storage in the context of the World Water Forums: ICOLD's contributions*. Hydropower & Dams Issue Two, 2-8.
9. SPANCOLD. 2012. *Proceedings 6th International Symposium on Roller Compacted Concrete (RCC) Dams*. Zaragoza.
10. POLIMÓN, J., JIA JINSHENG, BERGA, L. 2012. *Zaragoza RCC Symposium will review technology and achievements*. Hydropower & Dams Issue Five, 56-58.
11. Ibáñez de Aldecoa, R., Ortega, F. 2013. *International RCC Symposium reviews design and construction technology*. Conference report. Hydropower & Dams Issue Three, 2-9.
12. Jia Jinsheng, Zhou Jianping, Polimón, J., Wu Gaojian, Xiang Jian, Chen Mao. 2015. *Technical Progress on Sustainable Hydropower Development and Roller Compacted Concrete Dams*. CHINCOLD Publication. Yellow River Conservancy Press.
13. Jia Jinsheng, Polimón, J., Berga, L. 2015. *7th International Symposium reviews state of the art of RCC technology*. Hydropower & Dams Issue Six, 105-109.
14. SPANCOLD Newsletter. 2015. 7^o Simposio Internacional sobre Presas de HCR. Chengdu, China. Newsletter Vol 3, nº 3. Diciembre.
15. YALONG RIVER HYDROPOWER DEVELOPMENT COMPANY. 2015. *Briefing of Jinping-I hydropower station*.
16. NOMBRE, A. 2016. Comunicación personal.

MÁSTER INTERNACIONAL EN EMPRESA Y POLÍTICAS PÚBLICAS [MIEPP]

www.miepp.eu

*Liderar el desarrollo global
en los mercados de infraestructuras*

DIPLOMA CONJUNTO

École des Ponts ParisTech

Universidad Internacional Menéndez Pelayo

Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

CURSO ACADÉMICO 2016/17

FORMATO EXECUTIVE BILINGÜE ESPAÑOL-INGLÉS

DIRIGIDO A

Ingenieros que han de asumir responsabilidades como directores
de grandes proyectos, sectores o áreas geográficas.

OBJETIVOS

Reforzar **competencias en gestión (empresarial y de proyectos), habilidades comerciales**, conocimientos sobre **políticas públicas** (principal fuente de actividad en nuestro sector), habilidades transversales (**comunicación, negociación, liderazgo, trabajo en equipo...**).

PROFESORADO

Expertos académicos en **economía, ciencia política, derecho, sociología y administración de empresas**; líderes profesionales con experiencia en desarrollo de negocio y gestión de proyectos internacionales.

FORMATO

Un **año académico** a partir de octubre, **executive** (viernes completos y uno de cada tres sábados por la mañana).

Las clases, en **español e inglés**, se impartirán en Madrid, en horarios que permiten ida y vuelta en el día por AVE desde las principales ciudades.

Ayudas de transporte de la Fundación de hasta 1.500€ para alumnos que residen fuera de Madrid.

Se realizarán 3 **viajes de estudios** por España y otro al extranjero para realizar un proyecto de fin de Máster.

MATRÍCULA

10.900 € (condiciones especiales para ingenieros de Caminos colegiados).

Plazo para presentar candidaturas: hasta el 10 de julio. **MIEPP**



Con la colaboración de:



José Torán Peláez. Su vida profesional



J. Alberto Herreras

Doctor ingeniero de Caminos, Canales
y Puertos

Resumen

Se describen los diversos trabajos realizados por J. Torán, y las empresas que creó, en relación con la construcción y proyectos de grandes presas tanto en España como en Irak donde se destacan los relativos al dique de Razzaza cuya adecuación a la condición de gran presa lo salvó de la destrucción en la inmediata avenida posterior, lo que hubiera significado un desastre para la ciudad de Kerbala, situada aguas abajo, que es un santuario chiíta.

Se enumeran y comentan las intervenciones de J. Torán en ICOLD (International Commission on Large Dams) durante toda su vida y especialmente durante su presidencia (1970-1973), en la que logró la incorporación de China a ICOLD. Se reseña su participación en el reintegro del Comité Español de Grandes Presas a ICOLD y en la dirección de la redacción de las Normas de Proyecto y Construcción de Grandes Presas de España.

Se detallan otros trabajos de enorme importancia como es el Proyecto de Riegos (100.000 ha) en Irak, en la zona del Ishaqi –situada inmediatamente aguas arriba de Bagdad en la margen derecha del río Tigris– y su participación en el concurso internacional del oleoducto Rumailah-Fao, también en Irak.

Finalmente se describe su participación en el logro de que el Senado norteamericano aceptara la publicación y distribución (3.000 ejemplares) del documento del Bureau of Reclamation sobre los recursos hídricos en España. Se finaliza con la mención de sus relaciones con China y la descripción de la posible central hidroeléctrica del río Brammaputra, que sería una de las mayores del mundo.

Palabras clave

José Torán, construcción, grandes presas, China, Irak

Abstract

The article examines J. Torán's work and the companies he founded, primarily dedicated to the construction and design of large dams both in Spain and Iraq. Reference is made to the design modifications he made to the Razzaza dam that saved it from destruction in the imminent flooding that followed its construction, which would have been disastrous for the holy Shia city of Karbala, located downstream.

The article lists and comments on J. Torán's interventions at the International Commission on Large Dams (ICOLD) throughout his lifetime and particularly during his presidency (1970-1973), which saw the incorporation of China within ICOLD. Mention is made of his participation in the reinstatement of the Spanish National Committee on Large Dams within ICOLD and the drafting of Design and Construction Guidelines for Large Dams in Spain.

A description is given of other works of great importance overseen by Torán, such as the Irrigation Project (100,000 ha) in Iraq, in the vicinity of Ishaqi – set immediately downstream from Bagdad on the right bank of the Tigris River– and his participation in the international tender for the Rumaila-Fao oil pipeline, also in Iraq.

The article outlines his efforts to ensure US Senate approval for the publication and distribution (3,000 copies) of a document by the Bureau of Reclamation on water resources in Spain, before concluding with an allusion to his relations with China and a description of the Brahmaputra River hydropower project which will be one of the largest in the world.

Keywords

José Torán, construction, large dams, China, Iraq

El excelente libro de Ángel del Campo 'José Torán, un ingeniero insólito' (Nº 44 de la Colección Ciencias, Humanidades e Ingeniería) describe, con detalle y magnífica prosa, desde la infancia hasta sus últimos días prácticamente todas las efemérides, actividades, logros, dificultades e incluso desengaños de J. Torán a lo largo de su vida por lo que es casi imposible añadir nuevos datos; por ello, solo podré incorporar mínimos comentarios sobre algunas de las ocasiones y proyectos en los que tuve el privilegio de trabajar a sus órdenes.

Es muy posible que la intención del Comité Español al encargarme este artículo fuera la de reseñar las realizaciones de J. Torán como constructor y proyectista de grandes presas y su destacada intervención en los comités nacionales e internacionales dedicados al perfeccionamiento tecnológico y la difusión de los temas relacionados con estas infraestructuras. Sin embargo, me ha parecido conveniente describir, siquiera someramente, su intervención en otros trabajos porque creo que son interesantes para conocer mejor su atrayente personalidad y completar su extraordinario perfil profesional.

Es seguro que sus compañeros y amigos conocen la mayoría, pero dado que han transcurrido más de treinta años desde su fallecimiento es muy probable que muchos de los ingenieros, actualmente en pleno ejercicio de la profesión, no hayan tenido ocasión de conocerlas plenamente. Es fundamentalmente a ellos que están dirigidas estas líneas.

J. Torán terminó la carrera en 1943 ya que, si bien había ingresado en junio de 1936, las clases en la antigua Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos del Retiro no se reanudaron hasta 1939. Desde el principio se dedicó a actividades en la empresa privada y si en alguna ocasión se integró en los estamentos de la Administración –a lo que tenía derecho adquirido con el ingreso a dicha Escuela– fue de forma esporádica. Lo que interesa en lo que se refiere a su faceta de ingeniero constructor, es que en 1946 fundó la empresa Construcciones Civiles (Coviles) que si bien nació con el objetivo fundamental de dedicarse a la construcción y actividades relacionadas con las presas, la realidad es que intervino también en otros sectores, alguno de los cuales, como el de los regadíos, fueron determinantes en actividades posteriores de J. Torán.

El principio fue la terminación de la presa de El Vado, en el río Jarama, cuya construcción había sido detenida por



José Torán, a los 30 años de edad. Fuente: SPANCOLD

la contienda y problemas presupuestarios. A pesar de las dificultades procedentes de la escasez en el suministro de materiales y de la disponibilidad de la maquinaria más adecuada, finalmente se logró terminarla en 1953. Es interesante recordar que el ingeniero encargado por parte de la Administración fue Juan de Arespachoga –luego alcalde de Madrid– y el de Coviles a pie de obra Mario Romero Torrent, que mucho después fue el presidente de la empresa de ingeniería Eyser.

Posteriormente Coviles fue la empresa encargada de terminar la construcción de la presa de Guadalén y de realizar las de Cenajo, Camarillas, Guadalupe y Zújar. Aunque J. Torán ya no era el presidente de Coviles cuando se terminó la de El Cenajo en el río Segura, fue –con Jaime de Valle Inclán– el creador y organizador de la ceremonia de su inauguración conocida como 'La Huerta y el Río' que

fue un éxito sin precedentes destacando la importancia y beneficios que las presas producen para la sociedad.

Durante esa etapa de constructor, J. Torán realizó, con Coviles, túneles importantes –como los del Zadorra–, muchas obras de colonización y riegos en el Plan Badajoz y un puerto tan estratégico como es el de Rota para la operación conjunta de nuestra Armada con la de los Estados Unidos. El citado libro de Ángel del Campo incluye numerosas anécdotas de estas obras que si bien no tienen relación con las presas, permiten conocer las capacidades y personalidad de J. Torán.

El apasionamiento de J. Torán por las presas le condujo a investigar las funciones y actividades del Comité Internacional de Grandes Presas (ICOLD) en el que España había participado desde su creación en 1930 pero lo había abandonado en 1936. Rápidamente llegó a la conclusión de que era imprescindible la reincorporación a este organismo internacional con el fin de facilitar a los técnicos españoles el conocimiento y visita de las presas en el mundo y, simultáneamente, diseminar los detalles de las numerosas y exitosas realizaciones españolas. A tal efecto logró que un nutrido grupo de compatriotas, especialistas en el tema de grandes presas, acudiera en 1955 al Congreso de ICOLD que se celebró en París. Ese mismo año se tramitó y formalizó la reincorporación de España a ICOLD como miembro de pleno derecho.

Su calidad como técnico fue inmediatamente reconocida por ICOLD como lo demuestra que le encargó ser el ponente general del tema ‘Recrecimiento de presas existentes y métodos para la construcción de presas por etapas sucesivas’ para el siguiente Congreso (1958) en Nueva York. Es evidente que en los casi 60 años transcurridos ha evolucionado y se ha perfeccionado la maquinaria disponible para la construcción y se han introducido nuevos materiales, pero aún así es recomendable leer su ponencia sobre este tema.

A partir de ese momento sus intervenciones en los trabajos de ICOLD fueron permanentes participando en varios comités técnicos (Diccionario, Hormigón, Observaciones y Medidas y del Registro Mundial de Grandes Presas) y llegando primero a ser vicepresidente por Europa y elegido presidente después, en Montreal, para el trienio 1970-1973 del que después se comentan algunos aspectos. En mi opinión, sus obligados viajes y contactos con eminentes ingenieros –especialmente estadounidenses– integrados en importantes empresas de ingeniería que desarrollaban trabajos en numerosos países fueron la probable génesis de su convencimiento de que la consultoría era el sector más apropiado para sus actividades futuras y para ello fundó su empresa Torán y Cía. Ingeniería y Fomento.

Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que en aquellos momentos no existía una gran demanda para el sector de la



1973. Madrid. José Torán preside el XI Congreso de ICOLD. Sesión de Clausura.
Fuente: SPANCOLD



1960. José Torán, director de Torán y Cía. Ingeniería y Fomento.

Fuente: SPANCOLD

consultoría porque todos los estudios y proyectos oficiales eran desarrollados por los ingenieros de la Administración, mientras que otro posible cliente, las empresas hidroeléctricas, tenían sus propios gabinetes de proyectos. Ante esta situación, J. Torán se dedicó a tratar de convencer a las autoridades de que los ingenieros españoles habían acumulado gran experiencia en los diseños de presas y otras infraestructuras hidráulicas y de que era conveniente para el país desarrollar un sector privado que pudiera intervenir en el exterior; para ello, era necesario formular procedimientos que permitieran la contratación de los estudios y proyectos oficiales. Este fue el germen de Tecniberia de la que, aún siendo uno de sus promotores principales, J. Torán desvinculó después a su empresa porque no estaba de acuerdo con que el apoyo a las posibilidades en el exterior se canalizarán de forma primordial –especialmente

en Sudamérica– hacia EDES, una empresa pública creada con esa finalidad.

Las graves inundaciones del río Llobregat, que se produjeron en 1962, impulsaron la necesidad de controlar los daños que las avenidas de este río podían generar, especialmente en su tramo inferior desde Molins del Rey al mar; dado que se suponía que la laminación producida por los embalses, situados en la cuenca de aguas arriba, no era suficiente, sería necesario acudir a la construcción de diques en ambas márgenes. J. Torán convenció a la Administración de que lo mejor era diseñar tales diques como autopistas de entrada a Barcelona por la margen izquierda y al aeropuerto y al puerto del Prat por la derecha.

Dado que este planteamiento implicaba a dos de las direcciones generales del Ministerio de Obras Públicas (Carreteras y Obras Hidráulicas) era de presumir que no sería fácil el entendimiento entre los funcionarios de ambos organismos si se desarrollaba directamente por ellos. De esta manera J. Torán consiguió que el Ministerio llegara a la conclusión de que la mejor solución era encargar el proyecto a una empresa especializada para lo cual J. Torán ofreció utilizar una UTE de Torán y Cía con la americana TAMS (Tippet, Abbet McCarthy, Stratton) y finalmente obtuvo la adjudicación del pertinente contrato.

Además de numerosos técnicos de TAMS y de ingenieros de Torán y Cía., intervinieron otros expertos. Así, por ejemplo, el diseño de los puentes lo realizó la empresa de J. A. Torroja y el estudio del modelo hidráulico se realizó en Grenoble y se encargó a Pantecnia. Esta era una empresa que J. Torán había formado con la francesa Sogreah, que en aquel momento era, probablemente, la mejor del mundo para la ejecución y estudio de modelos físicos hidráulicos –por ejemplo, había realizado el del río Mekong y montado el modelo del Canal de Suez para entrenar a los capitanes de los grandes petroleros que lo transitaban–. Debe tenerse en cuenta que en aquel entonces no había empezado a funcionar el magnífico laboratorio que actualmente tiene el Centro de Estudios Hidrográficos en Madrid.

Con el objetivo de poder mostrar al mundo las realizaciones hidráulicas realizadas en España para dominar una naturaleza difícil logró convencer al Bureau of Reclamation (EE. UU.) que visitara nuestro país para mostrarle nuestras infraestructuras. El viaje fue programado por el Comité Nacional Español y se realizó con tal éxito que el Alto Comi-

sario del Bureau (Floyd E. Dominy) –uno de los integrantes del viaje– emitió un dictamen que, aprobado por el Senado americano con el título ‘*Water resources developments in Spain*’, fue publicado y sus 3.000 ejemplares repartidos entre los integrantes del Congreso de EE. UU. y los miembros de ICOLD. Es interesante recordar que otra misión –en este caso china– hizo un viaje similar en 1980, presidida por el viceministro de Energía, para conocer nuestras infraestructuras hidroeléctricas ya que estaban preparando un Plan General sobre el aprovechamiento hidroeléctrico en su país.

El interés de J. Torán por la participación en trabajos en el extranjero le llevó a conseguir formar parte del grupo que acompañó al entonces ministro de Información y Turismo, Fraga Iribarne, a la exposición que sobre las obras del Plan Badajoz había organizado la Embajada de España en Bagdad; el objetivo era dar a conocer las realizaciones españolas a las autoridades iraquíes con vistas a su consideración en la ampliación de sus regadíos y en las reformas que necesitaban en muchos de ellos debido, en muchos casos, a la falta de drenajes adecuados. Como resultado de esta visita se consiguió finalmente que el Gobierno iraquí adjudicara a Tecniberia el estudio y proyecto de ejecución de la zona regable del Ishaqui situada inmediatamente al norte de Bagdad, en la margen derecha del río Tigris, con una extensión del orden de 110.000 ha. Aunque al principio participaban otras dos empresas españolas (Heredia y Moreno y Cal-Tecnic) pronto se dejó solo a Torán y Cía. que trabajó siempre en Irak con el nombre de Spanco (Spanish Consulting Engineers).

El agua para el Ishaqui debía ser suministrada desde la presa de Samarra construida en su día por los ingleses; en esta ciudad existe una torre que se ha presentado a veces como la Torre de Babel. Aunque existía un antiguo estudio previo realizado por la empresa inglesa Binnie & Deacon la realidad es que no sirvió prácticamente para nada ya que, para empezar, fue necesario realizar los planos topográficos que se obtuvieron mediante restitución fotogramétrica de un vuelo para el que hubo que llevar el avión desde España y que tenía la dificultad añadida de que, al estar emplazado en la zona del Ishaqui, el principal recinto de las Fuerzas Armadas iraquíes (TAJI-CAMP) fueron muy intensas las restricciones para los vuelos y la obtención de positivos de las fotos.

En este proyecto, que finalmente fue entregado en 1968, intervinieron numerosos expertos y especialistas espa-



Base Naval de Rota. Rompeolas de Tetrapodos. Fuente: SPANCOLD

ñoles en los temas de topografía, hidrología, geotecnia, edafología, infraestructuras hidráulicas, riegos, drenajes, etc, cuyos nombres se citan rigurosamente en el citado libro de Ángel del Campo. Se demostró así la tesis de J. Torán de que en España existía experiencia técnica y realizaciones más que suficientes para poder trabajar en cualquier país del mundo y no solamente en Centro y Sudamérica. Por cuanto a J. Torán se refiere su capacidad de improvisar y ofrecer soluciones técnicas innovadoras a los problemas que se fueron suscitando le granjeó un respeto y amistad inusuales que fueron decisivos en los encargos posteriores relativos a la presa de Razzaza.

Las inundaciones en Irak producidas por las avenidas de los ríos Tigris y Éufrates son un suceso antiguo, de relativa frecuencia y de especial violencia sobre todo cuando no existían embalses que laminaran estas, siquiera parcialmente. La solución que habían encontrado desde antiguo era tratar de desviarlas a depresiones externas a

los cauces, en los desiertos adyacentes, para eliminar las aguas por evaporación. En el caso del Tigris la desviación se produce precisamente en la presa de Samarra –situada casi 100 kilómetros al norte de Bagdad– y se conduce hasta un gran lago interior –el Wadi Tharthar– que tiene capacidad más que suficiente para retener y eliminar los volúmenes que puedan desviarse desde el río, de forma que no existe ningún peligro de desbordamiento.

El caso es muy diferente con las avenidas del río Éufrates porque aunque el procedimiento es el mismo –desviación de las aguas a depresiones en los desiertos adyacentes– el volumen del embalse disponible es mucho menor que en el caso del Wadi-Tharthar. De hecho, al desviarlas hacia la depresión de Razzaza ya habían tenido que levantar un dique para incrementar su capacidad de embalse. El problema era que este dique no tenía las características de resistencia e impermeabilidad de una presa, de forma que si llegaba una nueva avenida, era prácticamente segura su destrucción si se seguía elevando su altura con las mismas características. Las aguas desembalsadas arrasaban la mayor parte de la ciudad de Kerbala –situada aguas abajo– que es un santuario chiíta del Islam; en aquel momento en Kerbala estaba exiliado el imán Jomeini.

J. Torán convenció a las autoridades iraquíes, con la ayuda de numerosos cálculos basados en las cadenas de Markov, que existía una alta probabilidad de una nueva crecida en el Éufrates. Aunque habían previsto una elevación de dos metros del dique e incluso tenían contratadas a las empresas (Soletanche, Rodio Y Geotécnica) para que realizaran las obras correspondientes, J. Torán demostró que no eran suficientes y que era preciso convertir el dique en una verdadera presa con la altura y características necesarias para albergar los enormes volúmenes de agua procedentes de la avenida y, además, de resistir las olas que produciría un *fetch* de más de 60 kilómetros.

Las construcciones se realizaron en un tiempo récord y finalmente el dique de tierra se convirtió en una gran presa con una pantalla impermeable –que en su momento fue récord del mundo– excavada y rellena con lodos tixotrópicos y un espaldón aguas arriba protegido por dados de hormigón –ya que no existía escollera a distancias razonables– cuya eficacia había sido contrastada en el Laboratorio de Puertos de la EICCP de Madrid. Como se suele decir, la fortuna sonríe a los valientes y en este caso se presentó una gran avenida cuyos enormes caudales

fueron perfectamente embalsados por el lago de Razzaza. El Gobierno iraquí –en reconocimiento de la labor de J. Torán– le concedió la medalla de Los Dos Ríos, la más alta condecoración civil de Irak.

Antes de volver a Irak y centrarnos en Canarias, es preciso regresar a ICOLD. Como ya se ha indicado, J. Torán había sido elegido presidente en 1970 en el Congreso celebrado ese año en Montreal donde también se eligió a Madrid como sede del siguiente Congreso en 1973. Los trabajos relativos a la organización del Congreso y de sus impresionantes viajes de estudio fueron desarrollados por un grupo de ingenieros que consiguieron que el Congreso de Madrid –a decir de muchos de los asistentes– fuera el mejor de cuantos se habían celebrado y mi experiencia personal es que nunca se ha superado. Para esta tarea, J. Torán cedió la responsabilidad al entonces vicepresidente de SPANCOLD, M. Gómez de Pablos, ya que él se tenía ocupar de la presidencia de ICOLD. Entre las numerosas publicaciones que se entregaron a los asistentes al Congreso se encuentran las traducciones al inglés y francés de la primera Instrucción para el Proyecto y Construcción de Presas, redactado en España a principios del siglo XX y que, seguramente, es la más antigua de la época moderna. Esta instrucción había sido sustituida, algunos años antes, por la vigente redactada, bajo la di-



1973. XI Congreso Comisión Internacional de Grandes Presas.

Fuente: Colección Particular Antonio de Cea



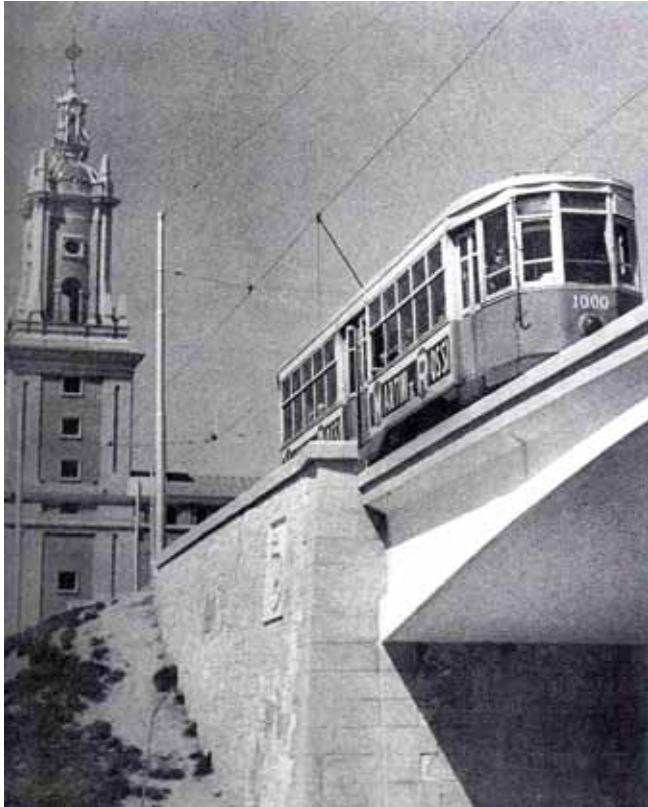
Presa José Torán (Sevilla).
Fuente: Confederación
Hidrográfica del
Guadalquivir

rección de J. Torán, por el Comité de Normas de Grandes Presas creado a tal fin y para su actualización continua.

J. Torán tenía durante su mandato como presidente dos objetivos básicos: a) lograr que China continental formara parte de ICOLD, para lo cual era necesario que renunciara Taiwán que era miembro, y b) escribir y distribuir su documento 'El Mirador' que contiene una serie de recomendaciones y sugerencias sobre el futuro de ICOLD y se describe someramente después. El primer objetivo –incorporación de China en ICOLD– se logró con el aplauso de todos sus miembros en el Congreso de Madrid y creo que las autoridades chinas no lo han olvidado nunca como lo demuestran las invitaciones y deferencias que a lo largo de su vida han tenido siempre con J. Torán. Por cuanto se refiere a 'El Mirador', sugiero a los lectores –especialmente a los más jóvenes– que lo lean ya que está reproducido en español como 'Apéndice 2' del citado libro de Ángel del Campo. Contiene recomendaciones y sugerencias sobre numerosos temas relacionados con las grandes presas entre las que, a guisa de ejemplo, destaco su recomendación de realizar una recopilación del estado del arte de hacer presas; esta fue recogida y desarrollada por el Comité español con la redacción y publicación de sus guías que son, en mi opinión, lo mejor que existe en este momento

en el mundo. Otro asunto que trata J. Torán en 'El Mirador' es la estabilidad de los grandes sistemas de distribución eléctrica y del papel de las centrales reversibles; este tema es de gran actualidad por la incorporación al sistema, cada vez mayor, de centrales de energía solar y eólica.

El proyecto que resumo a continuación no está directamente ligado con las presas, pero me parece que contribuye a mostrar de manera clara las capacidades e inventiva de J. Torán. Se trata del oleoducto Rumailah-Fao. Los responsables del negocio del petróleo en Irak –que habían cancelado las Concesiones a BP– decidieron construir un oleoducto desde los campos de extracción de Rumailah al puerto de Fao, en las inmediaciones de Basora, con el fin de poder exportar su petróleo. Este oleoducto –de unos 300 kilómetros de longitud– discurre muchas veces por terrenos pantanosos y el lugar de llegada también tiene grandes dificultades geotécnicas. Se convocó un concurso internacional al que acudieron varias empresas internacionales y la oferta de J. Torán –que había formado una UTE con el INI– fue la ganadora. Creo que las otras empresas estaban muy ligadas al sector del petróleo y para ellas un coste mayor de las obras tiene poca importancia porque lo miden en simples miles de barriles de petróleo de entre los millones que



piensan vender. Por eso no se les ocurrió –o no le dieron importancia– al factor transporte. La oferta española estudió y demostró que era posible utilizar un oleoducto en el que las tuberías tuvieran tres diámetros diferentes y de esa forma, enchufando unos en otros, conseguir realizar el transporte por un tercio de lo que costaría hacerlo con tubería del mismo diámetro para toda la longitud. También se hicieron varias propuestas relativas a la cimentación de los depósitos terminales que disminuían claramente los costes.

El ministro de Industria y del Petróleo citó a J. Torán para la firma del contrato y cuando estaba reunido para ello le llamó el vicepresidente de Irak –a la razón en visita oficial a Rusia– para decirle que acababa de firmar un acuerdo por el que serían los rusos quienes construirían este oleoducto. Las autoridades iraquíes estaban abochornadas y le prometieron a J. Torán que le compensarían con el encargo de los proyectos –especialmente hidráulicos– que les solicitara. Personalmente aconsejé a J. Torán que nos encargaran los de las grandes presas que quedaban por hacer en Irak entre ellas la de Eski-Mosul –aguas arriba de esta ciudad– que en la actualidad es de gran preocupación porque los métodos empleados en su construc-



Puente de Tranvías en la Avenida de los Reyes Católicos (Madrid). Imagen superior: año 1945. Imagen inferior: actualidad. Fuente: SPANCOLD

ción –realizada básicamente por empresas alemanas– no aseguran el comportamiento estable de su cimentación y su destrucción puede producir numerosas muertes y desplazamientos, así como ingentes daños materiales. No me hizo caso pero yo creo que ese “fracaso” no lo olvidó nunca porque ya se había visto como uno de los magnates del petróleo.

Otro de los escenarios en los que J. Torán trabajó de forma intensa y logró grandes logros fue en el archipiélago canario donde se realizaron los proyectos y supervisión de obras como las presas de Ariñez –para abastecimiento de Las Palmas– y las del Siberio, Tirajana y la Encantadora; otros trabajos fueron los canales de la presa del Parralillo, para riegos, y la conducción de la depuradora de Las Palmas que fue la primera en España donde, probablemente, se planteó el suministro de agua depurada para emplearla en los riegos y que implica una impulsión de 200 metros, o la conducción del agua desalada desde la primera planta de Gran Canaria hasta el depósito de alimentación a Las Palmas. De todas formas, en mi opinión, su idea más brillante en aquel escenario fue la de utilizar el mar como depósito inferior para centrales reversibles aprovechando los enormes desniveles que existen en varias islas en zonas muy próximas al mar; en el Andén Verde por ejemplo en Gran Canaria. No se efectuaron pero no cabe duda de que se podría retomar la idea actualmente teniendo en cuenta, además, el gran porcentaje de la producción de energía que suponen las eólicas en la actualidad por lo que será necesario regular tanto los tiempos de carencia como los de sobrantes respecto a la demanda.

Finalmente, en relación con Canarias, no se puede dejar de reseñar su idea de trasvasar agua desde el noroccidente peninsular al archipiélago aprovechando la corriente marina de vuelta del Golfo. Es decir, se trataba de llenar de agua en Galicia grandes depósitos de materiales plásticos –del orden de 100.000 m³–sumergirlos por debajo de la cota -20 para que no fueran atropelladas por los barcos y dejarlos en la citada corriente que los transportaría sin coste hasta las cercanías de las Islas donde serían recogidos y sus aguas almacenadas. Aunque ya entonces existían materiales baratos y recuperables, ya que no tienen que soportar grandes presiones, así como los elementos electrónicos de localización y seguimiento necesarios no cabe duda de que actualmente son problemas ampliamente superados. Es de extrañar que no se haya investigado más –que yo sepa– sobre esta posibilidad que es, con

seguridad, más barata que la implantación y operación de plantas desaladoras y, por supuesto, consumen mucha menos energía.

En los últimos años de su vida J. Torán dedicó la mayor parte de su tiempo creativo a los problemas de energía hidroeléctrica de China, para los que fue consultado varias veces y a los que propuso la gran central del río Brammaputra. Como es sabido este río discurre –de oeste a este– por el lado norte de la cordillera del Himalaya para en determinado momento cambiar bruscamente su curso en dirección norte-sur y discurrir hacia el oeste por la vertiente sur del Himalaya. De esta forma, existe una zona en la que la distancia entre los cursos del río situados en las dos vertientes del Himalaya es muy pequeña pero el desnivel es enorme. Teniendo en cuenta el gran caudal de este río y este posible salto se podría construir una central hidroeléctrica de gran potencia para generar una enorme cantidad de energía renovable, a costes relativamente reducidos, que nunca se ha planteado debido a que el curso superior discurre por terrenos de China y el inferior por regiones de India. Sé que J. Torán se lo propuso a ambos países y creo que llegó a entrevistarse al respecto con sus presidentes ofreciendo que fuera España –como país neutral y amigo de los dos– quien se ocupara de coordinar los estudios y proyectos, pero no obtuvo el necesario apoyo de las autoridades españolas para ello y creo que todavía sigue en el limbo de los futuribles.

Confío en haber transmitido las enormes capacidades de J. Torán no solamente en el tema de las grandes presas, y la admiración que numerosos ingenieros de todo el mundo han sentido por él y la nostalgia con la que seguimos recordando su ausencia. **ROP**



CUANDO LOS TÚNELES ESTÁN
IMPERMEABILIZADOS DE FORMA
PERMANENTE:
THAT'S BUILDING TRUST.



Premio José Torán



Alfredo Granados Granados

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Universidad Politécnica de Madrid (UPM)

Resumen

El Premio José Torán fue establecido por el Comité Nacional de Grandes Presas (SPANCOLD) en la memoria de este insigne ingeniero de Caminos. El VIII Premio José Torán ha sido convocado como parte de los actos del Año Torán en el que se conmemora el centenario de su nacimiento. En este artículo se hace una breve reseña sobre su vida, sobre los premios concedidos en las convocatorias precedentes y sobre el contenido de los trabajos presentados en la actual.

Palabras clave

José Torán, premio, centenario, memoria, presas

Abstract

José Torán Prize was established by the Spanish National Committee on Large Dams (SPANCOLD) in memory of this distinguished Civil Engineer. The VII José Torán Prize has been announced as a part of the activities of the Year of Torán that commemorates the centenary year of his birth. This paper presents a brief history of his life, a review of the previous winning-works, and a synopsis of the works submitted to the present announcement.

Keywords

José Torán, prize, centenary, memory, dams

Introducción

Nació José Torán el 10 de agosto de 1916 en Teruel, en el seno de una familia de ingenieros de caminos. Ingresó en la Escuela del Retiro en el año 1936, ya en los albores de la guerra. Solo tenía 20 años. Tras el fin de la contienda, acabó la carrera en 1943. Murió con 65 años, en Madrid, el día 15 de diciembre de 1981.

El premio José Torán se instituyó en el año 1992, al cumplirse diez años de su muerte. Este año 2016 se ha convocado de nuevo, en conmemoración del nacimiento de este genial ingeniero de Caminos. El epíteto 'genial' irá siempre unido a su nombre. No tuve la suerte de conocerlo, pero todos los que convivieron con él coinciden en que fue un innovador de la ingeniería de presas, imaginativo, inquieto, desbordante, estrambótico, seductor, y lleno de fantasía con la que acumuló grandes aciertos y fracasos.

Su vida fue frenética. Creó y arruinó empresas constructoras y de consultoría. Abrió mercados importantes dentro y fuera de España, cosechó éxitos de gestión inauditos, y dilapidó fortunas.

Atrapado por el inmenso campo de las presas, promovió con gran éxito la integración de España en la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD) mediante hábil negociación en el transcurso del V Congreso de ICOLD, celebrado en París (año 1955), siendo en aquel entonces ministro de Obras Públicas Alfonso Peña y director general de Obras Hidráulicas Francisco García de Sola. Ocupó cargos notables en ICOLD, siendo relator general en el VI Congreso (Nueva York 1958) y también en el IX Congreso (Estambul 1967); en el X Congreso (Montreal 1970) fue nombrado presidente de ICOLD y desde este puesto organizó el XI Congreso en Madrid (año 1973).

Sobre su figura circula un río de anécdotas, en distintas versiones amañadas por aquel que las cuenta, pero siempre con un trasfondo de verdad, que muestran la singularidad de José Torán. En ellas se relatan algunos de sus lances amorosos, sus desplantes, su fanfarronería, sus dotes de improvisación, y sus habilidades y genialidades.

No es extraño que se cuenten tantas anécdotas sobre su vida. A ellas dio pie con actuaciones sorprendentes que trascen-



Fig. 1. Presa del Cenajo

dieron ampliamente fuera de su entorno inmediato y que dan clara muestra de su habilidad improvisadora. Las más conocidas son algunas de su etapa de constructor de presas y entre ellas la más divulgada, por ser quizás la de mayor entidad, fue la emisión de dinero propio (los 'covilios') para solventar los graves problemas de tesorería que le acuciaban. Los 'covilios' consistían en una tarjeta al portador con el sello de Coviles y distintos valores faciales para facilitar el trueque. Este 'dinero', con el que pagaba las nóminas a los obreros, circulaba por los pueblos del entorno de sus obras. La abundancia de 'covilios' en poder de comerciantes, restaurantes y bares de la zona, y la imposibilidad de transformarlos en pesetas, fue al final origen de numerosos conflictos.

Otra de las historias ampliamente comentada entre los ingenieros fue el montaje preparado para la inauguración de la presa del Cenajo, que se hizo por la noche para que no se viese que algunos bloques de hormigón estaban inacabados, lo que obligó a rematar apresuradamente el paso por coronación con andamiaje de madera. En esta ocasión se dice que, ante el Caudillo, desfilaron los obreros por la coronación, uniformados con mono nuevo, pico y pala al hombro, y se culminó

el evento con un espectáculo de luz y sonido (cuyo texto fue escrito por el propio Torán), rematado con fuegos artificiales.

Reseña histórica de los Premios José Torán

En el año 1992, siendo José Luis Guitart presidente del Comité Nacional Español de Grandes Presas (SPANCOLD) se estableció este premio en reconocimiento a la labor de este gran ingeniero. Al concurso se han venido presentando un gran número de excelentes trabajos de innovación e investigación sobre aspectos específicos del diseño, construcción y explotación de presas; y otros de ámbito más general, que se adentran en el planeamiento o en la historia. Todos son de gran interés y hubiese querido recogerlos en esta reseña, indicando autores, temas tratados y menciones del jurado, pero atendiendo a la brevedad del contenido de este resumen solo se menciona a los ingenieros que fueron galardonados en cada convocatoria con el premio.

En la primera convocatoria (año 1993) se otorgó el premio al trabajo titulado 'Comportamiento sísmico de presas bóveda. Influencia de algunos parámetros geométricos', realizado por Juan Carlos Mosquera y Avelino Samartín. El jurado que eva-

luó los trabajos presentados estaba integrado por el entonces presidente de SPANCOLD José Luis Guitart, y los ingenieros Alfonso Álvarez, Luis Berga y Felipe Mendaña.

Al año siguiente (1994) volvió a convocarse el premio, otorgándose al trabajo 'Aireación de las estructuras hidráulicas de las presas: aliviaderos y desagües profundos', de Ramón María Gutiérrez Serret y Alfonso Palma. El jurado estuvo constituido por los ingenieros Eugenio Vallarino, Alejandro del Campo, Ángel Pérez Sáinz y José María Gaztañaga.

La tercera convocatoria se dejó desierta, decidiéndose la conveniencia de alargar más los periodos entre convocatorias, dando más plazo para el perfeccionamiento y presentación de los trabajos.

En la cuarta convocatoria (año 1998), el premio se otorgó al trabajo 'Diseño de presas de escollera resistentes al sobrepertido', realizado por Miguel Ángel Toledo Municio. La comisión evaluadora estuvo constituida por el presidente de SPANCOLD, Luis Berga, y los ingenieros Manuel Castillo, José Luis Uceda y Fernando Girón.

En la quinta convocatoria (año 2001), el premio se otorgó al trabajo 'Estudio relativo a la evaluación experimental del

módulo de deformación en hormigón de presas', presentado por Luis Agulló, Antonio Aguado, Ravindra Getty y Jordi Vilardell. El jurado lo formaban el presidente Luis Berga y los ingenieros Rodrigo del Hoyo, José Antonio Baztán y Florentino Santos.

En el año 2005 se convocó nuevamente el premio José Torán, con ocasión de la celebración del XXII Congreso de ICOLD, importante evento celebrado en Barcelona en 2006. Entre los trabajos presentados se eligió el titulado 'Las presas romanas en España', realizado por Juan Carlos Castillo Barranco. La comisión estuvo constituida por el presidente Luis Berga y los ingenieros José Enrique Bofill, José María Vizcaíno y Juan Alberto García Pérez. El premio se entregó en los actos de clausura del Congreso.

En la séptima convocatoria (año 2008), fue premiado el trabajo 'Desarrollo de un protocolo para la evaluación de la seguridad de presas en Venezuela. Aplicación al embalse Tres Ríos El Diluvio', realizado por el ingeniero José Daniel Rosales Maniglia. En el jurado estuvieron Eugenio Vallarino, José Antonio Baztán, Cristóbal Mateos, Fernando Sáenz y Nuria Segura. Se entregó el premio en las VII Jornadas Españolas de Presas, celebradas en Córdoba.



Fig. 2. Presa de La Loteta

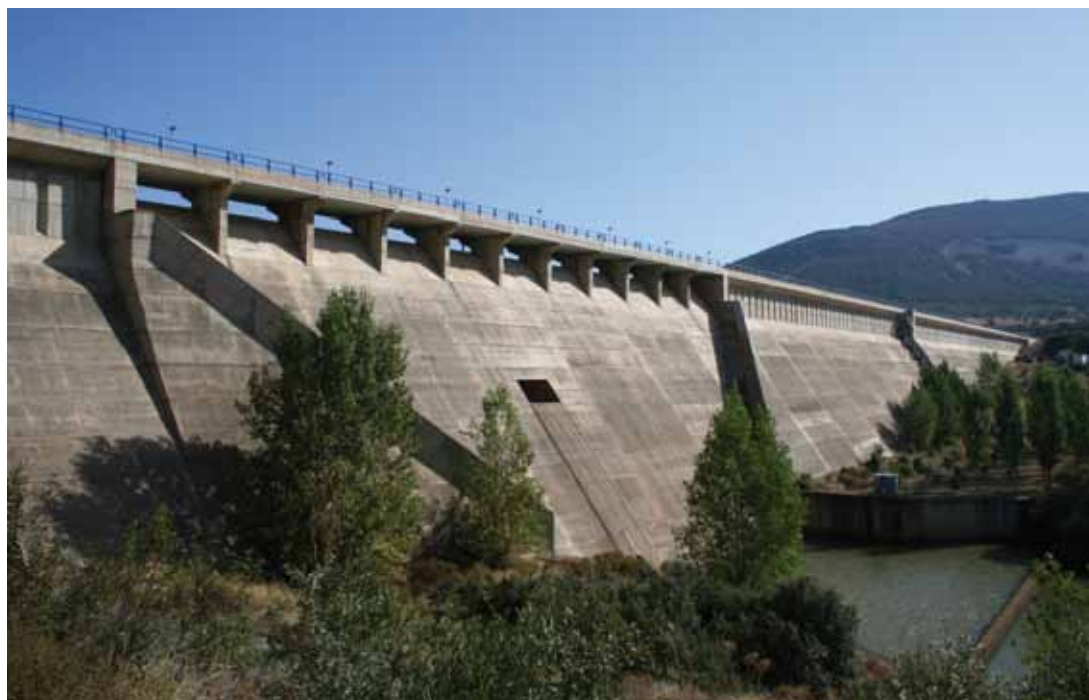


Fig. 3. Presa de La Torre de Abraham

VIII convocatoria del Premio José Torán

En 2016 se cumplen 100 años del nacimiento de este insigne ingeniero de Caminos. Entre los actos programados para conmemorar el centenario, SPANCOLD ha procedido a convocar nuevamente el premio establecido en su memoria. Cerrado el plazo de admisión, al jurado le ha correspondido la difícil tarea de evaluar y seleccionar el trabajo agraciado con el premio.

Todos los documentos presentados al concurso corresponden a trabajos de innovación e investigación, sobre temas que atañen al diseño, construcción y explotación de presas, o bien a la gestión sostenible de los embalses o a su influencia en el desarrollo y mejora equilibrada de los recursos hidráulicos. A continuación, dispuestos en orden alfabético, según el apellido de sus autores, se adjunta un extracto del resumen que encabeza cada uno de estos trabajos.

Presas sobre cimientos yesíferos. Modelación numérica del proceso de disolución y criterios de diseño (Baena Berrendero, Carmen María)

Hay en el mundo muchas presas cimentadas en formaciones geológicas que contienen yeso en mayor o menor grado. No todas han tenido una explotación tranquila. El problema proviene por el efecto de disolución progresiva del yeso, que conlleva aumento gradual de las filtraciones y riesgo de sub-

sidencia. El estudio del avance del proceso de disolución del yeso, existente en capas del cimiento de apoyo de la presa, lo inició la autora de este trabajo durante la redacción del proyecto de la presa de La Loteta, investigación que continuó durante la construcción de la presa y que prosigue al día de hoy. En los estudios llevados a cabo ha revisado las incidencias que se han producido en otras presas que adolecen de este mismo problema, analizando la efectividad de las medidas adoptadas para contención del proceso, lo que le ha permitido fijar criterios de diseño de los elementos con que han de dotarse a las presas cimentadas sobre terrenos con yesos.

Evaluación de la seguridad al deslizamiento de una presa de fábrica con una familia de discontinuidades y con un criterio de rotura con ley de fluencia no asociada (Cabrera Carpio, Miriam Mercedes)

Existe un gran número de presas antiguas en las que el titular precisa evaluar su seguridad estructural, considerando aspectos no contemplados en el diseño, como puede ser la presencia de planos de debilidad en el macizo rocoso de cimentación o la influencia de nuevos criterios de rotura o el efecto de la deformación plástica en el proceso de fallo. En el trabajo presentado propone una metodología analítica para el análisis de la estabilidad al deslizamiento de presas de hormigón, considerando un mecanismo de fallo en la cimentación

caracterizado por la presencia de una familia de discontinuidades, asociadas a la posibilidad de que exista una junta subhorizontal desfavorable que se extienda a través de la roca de cimentación. Analiza casos de presas de fábrica en las que se han producido accidentes generados por deslizamiento de la cimentación a lo largo de una junta de debilidad horizontal. Propone una nueva metodología analítica para evaluar las condiciones de estabilidad mediante modelos matemáticos.

Gestión integral de obras hidráulicas de hormigón: del diagnóstico a la inversión (Pardo i Bosch, Francesc)

Aborda de forma conjunta dos aspectos primordiales en la gestión de obras hidráulicas en explotación: el diagnóstico de daños y la priorización de las inversiones para corrección de éstos. Propone una metodología para ayuda a la toma de decisiones basada en el diagnóstico correcto de los daños (cuyo orden secuencial es el siguiente: conocimiento de la estructura y de su historia, inspección detallada de campo, y trabajos de gabinete) y en la evaluación y priorización de las actuaciones de mantenimiento y conservación a realizar. Lo aplica a presas de hormigón, estudiando el caso particular de la presa de Urrúnaga. Para la toma de decisiones propone el empleo de una herramienta que analiza los tres pilares básicos de la sostenibilidad: la sociedad, el medio ambiente y la economía. La originalidad y gran aportación de la herramienta propuesta es la capacidad que tiene de homogeneizar y evaluar actuaciones heterogéneas que se pretenden efectuar en unidades estructurales totalmente distintas.

Estudio de los beneficios de la laminación de avenidas en las presas. Caso presa Torre de Abraham (Ruiz Cid, Omar)

La presa de Torre de Abraham, construida con el fin de regular las aportaciones del río Bullaque para abastecimiento y riego, ha contribuido también con su efecto laminador a la reducción aguas abajo de las puntas de las riadas. A este aspecto beneficioso de la presa no se le dio mayor importancia en el proyecto, pasando desapercibido. Sin embargo, río abajo existe una amplia plana aluvial en la que está asentado el núcleo urbano de Pueblonuevo del Bullaque, el cual continúa afectado por las inundaciones anegándose con las avenidas algunas de las zonas situadas a cota más baja. El trabajo presentado analiza los beneficios adicionales que se habrían conseguido si, asociado al poder laminador del embalse, se hubiese construido una mota de defensa en la ribera del río que, con un pequeño incremento del costo, hubiese eliminado el riesgo de anegamiento de esta área. Con ello se resalta que el promotor de la presa no siempre aprovecha la rentabilidad que pueden ofrecer pequeñas inversiones adicionales, de

escasa entidad frente al costo de la obra, con las que se potencian las mejoras creadas por el embalse.

Modelación hidráulica de flujos multifase en grandes presas. Aplicación al diseño de cuencos de amortiguación (Valero Huerta, Daniel)

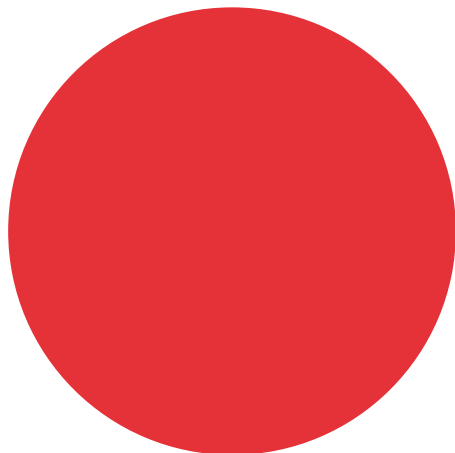
El diseño de los órganos de desagüe de las presas ha estado siempre asociado a su estudio en modelos físicos a escala reducida. Sin embargo la reducción de escala con que se opera en el modelo físico deja aspectos del comportamiento real sin resolver, entre los que figura el efecto de la alta aireación del flujo generada al circular el agua por el canal de descarga, lo cual no es posible reproducirlo con verosimilitud. La emulsión de aire afecta a las condiciones con las que el flujo entra al cuenco, y también al proceso de disipación de energía. En el trabajo presentado se propone la utilización de modelos computacionales multifase que acoplen el efecto del aire emulsionado en el agua, es decir un nuevo enfoque de las técnicas CFD en donde se tenga en cuenta este efecto de la aireación del flujo. Con este objetivo el autor desarrolla una metodología que permite aplicar al diseño de los cuencos el estudio de flujos altamente aireados, analizando los parámetros involucrados y la forma de calibrarlos.

Conclusión

El contenido de todos los trabajos presentados muestra la diversidad de los temas tratados por cada uno de los autores. Todos se han atendido a las bases del concurso, desarrollando aspectos monográficos referentes al diseño, al comportamiento o a la gestión de las presas. El jurado ha analizado con satisfacción todos los documentos y ha tenido la difícil obligación de dictaminar a cual de ellos se le concede el premio. Desde aquí le doy a Carmen Baena mi más cordial enhorabuena por el trabajo que ha presentado, el cual ha sido galardonado con el Premio José Torán de la VIII Convocatoria. **ROP**

Referencias

- Confederación Hidrográfica del Segura. (2013). 50 años. Cenajo y Camarillas. 1963-2013.
- Del Campo A. (1992). José Torán. Un ingeniero insólito. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Sáenz F. (1982). El sentido corporativo de Torán. Revista de Obras Públicas. Febrero 1982.
- Segura N. (2010). Los Premios José Torán. Revista de Obras Públicas. Abril 2010.
- SPANCOLD. (2015). Bases de la VII Convocatoria del Premio José Torán.



125 años al servicio de las mejores infraestructuras

Argentina | Brasil | Colombia | Croacia | Ecuador | España | Letonia | Lituania
México | Perú | Polonia | Portugal | Rumanía | Turquía | Uruguay



Comprometidos
con el futuro



www.comsa.com

Inventario de presas españolas

Número, construcción, puesta en carga y presas en explotación en el sexenio 2009-2015



Juan Carlos de Cea Azañedo

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Confederación Hidrográfica del Tajo



Mª José Mateo del Horno

Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos

Resumen

Se analiza en el artículo la actividad en la construcción de presas en España entre los años 2009-2015, periodo comprendido entre los Congresos Internacionales de Grandes Presas XXIV y XXV, celebrados en Kioto y Stavanger, respectivamente, y las presas que en ese mismo periodo de tiempo han entrado en explotación. Se aprecia en el texto cómo, debido a la crisis económica que ha sufrido el país, el número de presas en construcción se ha ido reduciendo de forma paulatina, de manera que en unos pocos años España podría pasar a formar parte del grupo de países en el que esa actividad tendrá un carácter marginal.

Palabras clave

Presas, construcción, puesta en carga, recrecimiento, capacidad

Abstract

This paper describes the activity on dam construction in Spain between 2009-2015 period, between the XXIVth and XXVth International Congresses on Large Dams held in Kyoto and Stavanger, respectively, and the number of dams that has been put in operation in the same period of time. The paper also pay a special attention to the fact that due to the economic restrictions the number of dams under construction has dropped significantly and, nowadays, only 13 dams are in this phase of its life cycle.

Keywords

Dam, construction, first filling, enlargement, capacity

1. Introducción

Ha sido habitual incluir en los números monográficos de la Revista de Obras Públicas dedicados a los congresos internacionales de grandes presas organizados por ICOLD, un artículo en el que se describiera la actividad desarrollada en materia de construcción de presas en el periodo de tiempo transcurrido entre dos congresos consecutivos. En el presente artículo se describirá dicha actividad entre los años 2009 –año en que se celebró el XXIII Congreso Internacional de Grandes Presas en Brasilia (Brasil)– y 2015 –en el que tuvo lugar el XXV, en Stavanger (Noruega)–.

Se analizará en primer lugar cuál es la actividad actual en materia de construcción de presas en el país, así como las características más generales de las presas que actualmente se encuentran en dicha fase; a continuación, se hará lo mismo con los recrecimientos de presas y embalses ya

existentes. Por último, se examinará qué número de presas han entrado en fase de puesta en carga en ese mismo periodo de tiempo y cuáles de ellas han cambiado incluso dos veces de fase y hoy en día se encuentran en explotación. De forma complementaria a lo anterior, se ha procedido a actualizar, usando para ello los volúmenes de embalse asociados a todas estas últimas, cuál es la capacidad de embalse en 2015 y, la capacidad de regulación del sistema de embalses español.

Por último, y para terminar, de algunas de las presas que se encuentran en construcción, o que se van a construir en un futuro muy próximo, se han seleccionado aquellas que pueden tener más interés para el sector, incluyéndose al final del artículo una pequeña ficha descriptiva de sus características más básicas, su tipología, geología y algunos otros datos de interés.

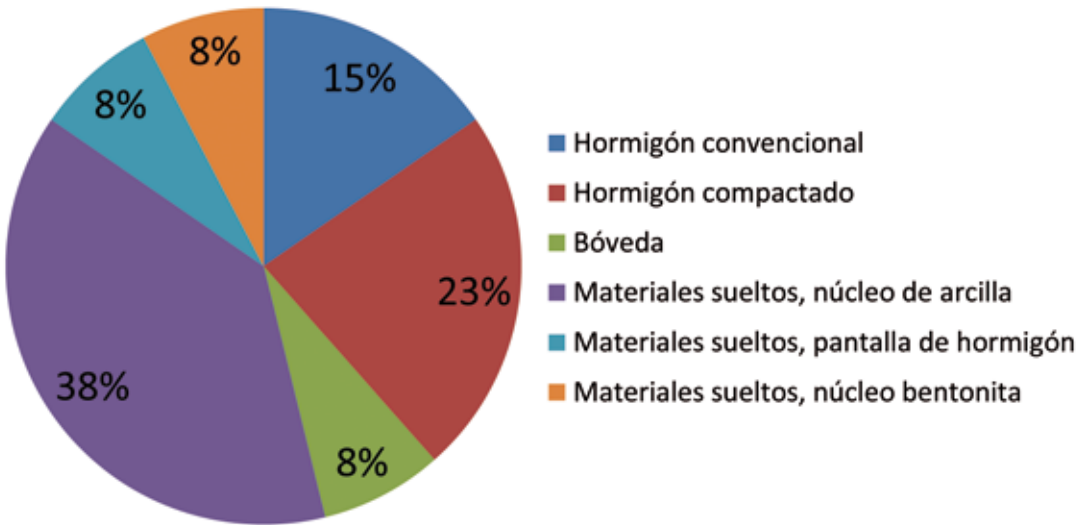
2. Presas en construcción

De acuerdo con la base de datos de presas que dispone el Comité Nacional Español de Grandes Presas (SPANCOLD), en el momento de escribir estas líneas (febrero de 2016) se encuentran en construcción en España un total de 15 presas, de las cuales dos de ellas son recrecimientos de otras tantas presas existentes.

La mayor parte de estas 15 presas en construcción, con un total de 10, se encuentran en la Demarcación Hidrográfica del Ebro, a la que sigue la del Duero, con 3. Hay una presa en construcción tanto en la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir como en la del Tinto-Piedras-Odiel.

En lo que se refiere a sus tipologías, el 54 % de esas presas son de materiales sueltos y el 46 % restante de fábrica, con la siguiente distribución:

- a) De fábrica:
 - a. Hormigón convencional 2
 - b. Hormigón compactado 3
 - c. Bóveda 1
- b) De materiales sueltos:
 - a. Con núcleo de arcilla 5
 - b. Con pantalla de hormigón 1
 - c. Con núcleo de bentonita-cemento 1



En relación a su altura hay 7 presas en construcción con menos de 50 metros de altura, 2 con altura comprendida entre 80 y 50 metros y 4 con más de 80 metros de altura.

Con respecto a su titularidad, 9 de las presas están siendo construidas por el Estado a través de sus confederaciones hidrográficas, 3 presas son promovidas por sociedades estatales dependientes del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y una por parte de la Junta de Castilla y León.

En la tabla 1 se recogen la ubicación, tipología, características más básicas de las presas en construcción y de los embalses cerrados por ellas y del uso a dar a estos.

Es destacable la importante reducción que ha sufrido en España la actividad de construcción en general, y de la de presas en particular, en los últimos años, tal y como demuestra el hecho de que en el año 2009 se registraban en un artículo similar a éste un total 37 presas en fase de construcción, frente a las 15 actuales, las 13 a que antes hemos hecho mención y los dos recrecimientos a que nos referiremos a continuación.

En la tabla 2 se recogen las presas que en 2009 estaban en construcción y que tras superar con éxito la fase de puesta en carga, actualmente se encuentran ya en fase de explotación.

Distribución por tipología de las presas en construcción

Nombre	Río	Demarcación Hidrográfica	Provincia	Tipo	Altura (m)	Capacidad Embalse (hm ³)	Uso
Castrovido	Arlanza	Duero	Burgos	G	95,5	82,0	AVEN
Los Vados (Castrovido cola)	Arlanza	Duero	Burgos	A	24,5	4,48	HUM
Las Cuevas (**)	Arroyo de Las Cuevas	Duero	Palencia	MSNC	52,5	10,9	RIEGO
Albagés (*)	Set	Ebro	Lérida	MSNC	85,0	79,80	REG
Esca (***)	Esca	Ebro	Navarra	G-MSNB	23,0	2,86	HUM
Yesa (Azud de cola) (***)	Aragón	Ebro	Navarra	G(HC)	8,5	0,51	HUM
Enciso	Cidacos	Ebro	Logroño	G(HC)	103,5	48,0	-
El Molino (*)	Arroyo del Valle	Ebro	Álava	MSPA	29,0	1,0	-
Mularroya	Grío	Ebro	Zaragoza	MSNC	91,0	103,0	REG/RIEGO
Nagore	Urrobi	Ebro	Navarra	G(HC)	36,5	4,7	RIEGO
Valdepatao	Valdepatao	Ebro	Huesca	MSNC	35,0	5,67	RIEGO
Llano del Cadimo	-	Guadalquivir	Jaén	MSNC	42,5	19,75	REG/RIEGO
Alcolea (*)	Odiel	Tinto-Piedras-Odiel	Huelva	G	61,0	274,0	REG/RIEGO

Tabla 1. Presas en construcción en el año 2016

Notas:

(*) Presas promovidas por sociedades estatales

(**) Presas promovidas por CC. AA.

(***) Administrativamente en fase de construcción, obras no iniciadas

Tipología:

G: Gravedad

A: Bóveda

HC: Hormigón compactado

MSNC: Materiales sueltos con núcleo de arcilla

MSPA: Materiales sueltos con pantalla asfáltica

MSNB: Materiales sueltos con núcleo bentonita-cemento

Destino:

AVEN: Defensa frente a avenidas

HUM: Creación zona húmeda

REG: Regulación

RIEGO: Riego

También en ese mismo periodo de tiempo, solo una única presa nueva se ha licitado por parte del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Magrama). En efecto, es el caso del proyecto de construcción del embalse de Almudévar, en el ámbito geográfico de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Este embalse, con una capacidad de unos 170 hm³, se cierra mediante dos diques: el dique oeste –de 2.400 m de longitud y 41,5 m de altura– y el dique este –de 3.900 m de longitud y 26 m de altura–.

3. Recrecimientos

Actualmente avanza a buen ritmo de construcción y con absoluta normalidad el recrecimiento de la presa de Yesa, en la Demarcación Hidrográfica del Ebro. Este recrecimiento consiste en adosar a la presa existente, aguas abajo de ella, un cuerpo de gravas impermeabilizado mediante una pantalla de hormigón, tipología que tiene la ventaja de que permite mantener el embalse existente en explotación para atender las necesidades de la importante zona regable situada aguas abajo de ella.

Nombre	Río	Demarcación Hidrográfica	Provincia	Tipo	Altura (m)	Capacidad Embalse (hm³)	Uso
El Barrancal (**)	Rojo	Duero	Burgos	MSNC	31,0	1,7	RIEGO
Valdemudarra	Valdemudarra	Duero	Valladolid	MSH	34,0	4,66	RIEGO
Arroyo Regajo (*)	Regajo	Ebro	La Rioja	MSNC	45,0	1,7	ABAS/RIEGO
Las Fitas	Gállego	Ebro	Huesca	MSNC	41,0	8,0	RIEGO
Laverné (*)	Barranco de Laverné	Ebro	Zaragoza	MSNC	54,5	37,8	RIEGO
Lastanosa (**)	-	Ebro	Huesca	MSNC	41,0	9,7	RIEGO
La Parras (*)	Las Parras	Ebro	Teruel	MSNC	53,0	5,8	-
Puente de Santolea (*)	Guadalupe	Ebro	Teruel	G(HC)	44,0	17,7	HUM
Oroz-Betelu	Irati	Ebro	Navarra	G	12,5	0,1	HUM
Sarriá I	Arga	Ebro	Navarra	G	17,0	1,6	HELEC
La Gitana	Azanaque	Guadalquivir	Sevilla	MSNC	26,6	9,8	REG/RIEGO
Restinga	Arroyo Restinga	Guadalquivir	Sevilla	MSNC	23,0	2,73	REG/RIEGO
Rosario	Ayo. Fuente de la Parra	Guadalquivir	Sevilla	MSH	17,0	2,12	REG/RIEGO
Zapateros (*)	Ayo. Crucetas	Guadalquivir	Albacete	G	37,0	0,57	ABAS/RIEGO
Villalba de los Barros	Guadajira	Guadiana	Badajoz	MSH	45,5	106,0	RIEGO
Mora de Rubielos	Tosquillas	Júcar	Teruel	MSNA	35,0	1,0	ABAS/RIEGO
Terrateig (*)	Serpis	Júcar	Valencia	G	26,5	0,3	AVEN

Tabla 2. Presas en construcción en el año 2009 y actualmente en explotación

Notas:

(*) Presas promovidas por sociedades estatales

(**) Presas promovidas por CC. AA.

Tipología:

G: Gravedad

HC: Hormigón compactado

MSNC: Materiales sueltos con núcleo de arcilla

MSH: Materiales sueltos homogénea

MSNA: Materiales sueltos núcleo asfáltico

Destino:

ABAS: Abastecimiento

AVEN: Defensa frente a avenidas

HELEC: Hidroeléctrico

HUM: Creación zona húmeda

REG: Regulación

RIEGO: Riego

Con anterioridad se incluía bajo esta misma denominación el recrecimiento de la presa de Santolea, trabajo consistente en adosar a la presa existente, en su paramento de aguas arriba, un forro de hormigón mediante el cual su coronación se elevaría un total de 16 m.

Pero ese recrecimiento así concebido se sustituyó a mediados del pasado año 2015 por un nuevo proyecto de presa; una presa exenta localizada en un cañón situado a unos 1.500 m aguas arriba de la presa existente, con planta quebrada

formada por dos alineaciones rectas unidas por una curva de transición, y 220 metros de longitud, con una altura sobre cimientos de 59 metros. En el futuro esta presa cerrará un embalse con un incremento de capacidad sobre el actual de 39,17 hm³.

4. Presas puestas en carga

En la fecha de redacción del presente artículo se encuentran en fase de puesta en carga un total de 10 presas que cierran 8 embalses. Salvo una presa perteneciente a la

Nombre	Río	Demarcación Hidrográfica	Provincia	Tipo	Altura (m)	Capacidad Embalse (hm³)	Uso
Alcollarín	Alcollarín	Guadiana	Cáceres	G	32,0	51,6	REG
Alcollarín (azud de cola)	Alcollarín	Guadiana	Cáceres				
Búrdalo	Búrdalo	Guadiana	Cáceres	G	35,0	79,3	REG
Búrdalo (azud de cola)	Búrdalo	Guadiana	Cáceres				
Lechago	Jiloca	Ebro	Zaragoza	MSNC	39,0	18,2	RIEGO
Montearagón	Flumen	Ebro	Zaragoza	G	78,0	51,5	ABAS/RIEGO
San Salvador	Esera	Ebro	Huesca	MSNC	51,0	133,1	RIEGO/ABAS
Terroba (Leza)	Leza	Ebro	Logroño	MSPA	45,6	8,1	ABAS/RIEGO
Siles	Guadalimar	Guadalquivir	Jaén	MSNC	55,0	30,5	ABAS/RIEGO
Villafraja (**)	Arroyo Villafraja	Duero	Palencia	MSNC	46,5	12,0	RIEGO

Tabla 3. Presas en fase de puesta en carga

Notas:

(**) Presas promovidas por CC. AA.

Tipología:**G:** Gravedad**MSNC:** Materiales sueltos con núcleo de arcilla**MSPA:** Materiales sueltos pantalla asfáltica**Destino:****ABAS:** Abastecimiento**REG:** Regulación**RIEGO:** Riego

Nombre	Río	Demarcación Hidrográfica	Provincia	Altura (m)	Capacidad Embalse (hm³)
Arauzo	Sinovas	Duero	Burgos	26,0	4,8
Arenoso	Arenoso	Guadalquivir	Córdoba	80,0	160,0
Artajona	Ayo. De las Cabras	Ebro	Navarra	45,5	2,0
La Breña II	Guadiato	Guadalquivir	Córdoba	124	823
Casares de Arbas	Casares	Duero	León	52,0	37,0
Ceguilla	Ceguilla	Duero	Segovia	40,0	1,0
Ibiur	Ibiur	Cantábrico	Guipúzcoa	69,5	7,5
Irueña	Águeda	Duero	Salamanca	75,4	110,0
La Loteta	Carrizal	Ebro	Zaragoza	29,0	96,7
Los Melonares	Viar	Guadalquivir	Sevilla	50,0	180,4
Montoro III	Montoro	Guadalquivir	Córdoba	60,3	102,4
Navas del Marqués	Valtravies	Duero	Ávila	36,0	2,0
Ullivarri-Arrazua	Ayo. Iturrichu	Ebro	Álava	44,0	7,2
La Colada	Guadalmatilla	Guadiana	Córdoba	48,5	57,7
Rialb	Segre	Ebro	Lérida	101,0	402,0

Tabla 4. Presas en puesta en carga en año 2009 y actualmente en fase de explotación

Junta de Castilla y León, el resto son de titularidad estatal y se distribuyen de la siguiente forma: 4 en el Guadiana, 4 en el Ebro y otra en el Guadalquivir.

Con respecto a la relación de presas en fase de puesta en carga que se recogía en el monográfico dedicado al XXIII Congreso Internacional de Grandes Presas, celebrado en Brasilia en 2009, todas las allí incluidas han cambiado dos veces de fase, encontrándose actualmente todas en fase de explotación.

5. Capacidad de embalse

La capacidad teórica máxima de agua embalsada por el parque presístico español en el año 2006, de acuerdo con los datos manejados en aquel momento, era de 56.372 hm³.

Para actualizar esa cifra a fecha de 2015, era preciso sumar los 4.651,7 hm³ correspondientes a las presas en construcción en el año 2006, los recrecimientos también en construcción y el volumen correspondiente a las presas que se preveía poner en carga a lo largo de todo ese mismo año.

Pero también la variación experimentada por los embalses cerrados por las nuevas presas construidas entre 2006 y 2015, y de los volúmenes de embalse almacenados por las presas puestas en carga en ese mismo período de tiempo.

A fecha de redacción del presente artículo y teniendo en cuenta todos esos datos, es posible concluir que el volumen teórico de capacidad de embalse a finales del año 2015 ascendía a un total de 61.780,65 hm³.

Si además de esa cifra se tiene en cuenta el volumen anual de escorrentía que circula por los ríos españoles, resulta que en la actualidad el grado de regulación en España es del 53,7 %, frente al 9 % que se obtendría en base al régimen natural de esos mismos ríos.

6. Inventario de presas ICOLD

Una de las principales conclusiones alcanzadas por el Comité de Registro de Presas y Documentación de la Comisión Internacional de grandes presas (ICOLD) durante las 82ª y 83ª reuniones anuales celebradas en Bali (2014) y Stavanger (2015), respectivamente, en relación con la situación en la que se encuentra el Registro Mundial de Presas, ha sido que se deben ir subsanando en los próxi-

mos años los numerosos datos erróneos detectados en el mismo y que, para ello, todos los comités nacionales, entre los que se encuentra el español, deberían intensificar las labores de mantenimiento y actualización de sus correspondientes registros nacionales, registro que en España conocemos bajo el nombre de Inventario, y que incluye, además de las presas existentes en explotación, las que se encuentran en fase de construcción. Es importante destacar que ese registro no coincide con el que se recoge en la web del Magrama (<http://sig.magrama.es/snczi/visor.html?herramienta=Presas>), que es el registro oficial de presas españolas, en el que se incluyen todas las presas, sean pequeñas o grandes, con independencia de la fase de su vida en la que se encuentren.

Según ICOLD, se considera como gran presa aquella estructura que tiene más de 15 m de altura desde el punto más bajo de la cimentación hasta la coronación, o que se encuentra entre 5 y 15 metros de altura y almacena más de 3 millones de metros cúbicos. No coincide por lo tanto ese criterio de clasificación con el que figura en la normativa de presas española.

Como consecuencia de lo anterior, el Comité de Registro de Presas de SPANCOLD inició durante el año 2014 y gran parte del año 2015 una revisión exhaustiva y muy detallada del registro de grandes presas españolas de SPANCOLD, de las fases en que se encuentra cada una de ellas, así como de su principales características, con el objetivo de cumplir el mandato de ICOLD.

Cabe destacar en ese sentido que para la actualización de ese importante volumen de información se ha efectuado una búsqueda muy exhaustiva a través de internet, dónde cada vez hay más información relacionada con las presas españolas (especialmente introducida por algunas comunidades autónomas), y usando para ello el buscador Google. Ha sido también básico para poder mejorar el nivel de los datos existentes en la base de datos de SPANCOLD, especialmente en todo lo que tenía que ver con las presas canarias, donde había una importante carencia de datos y muchos de los introducidos no eran del todo correctos, la ayuda proveniente de Jaime González, geógrafo, importante investigador de todo lo que tiene que ver con el agua y las presas canarias, y vocal colaborador del comité.



Situación de las grandes presas españolas de acuerdo con los criterios ICOLD

Tras ese importante trabajo efectuado durante cerca de un año entero, atendiendo a los criterios de clasificación de ICOLD, es posible decir que en España hay actualmente un total de 1.062 grandes presas, de las cuales 1.044 se encuentran en fase de explotación y 18 están en fase de construcción y puesta en carga.

A pesar de todo el trabajo realizado, aún queda algo más por hacer. En efecto, queda por examinar con detalle cual la ubicación de todas y cada una de las grandes presas españolas, en las que aún existen algunos errores que se irán corrigiendo en el futuro próximo. En ese sentido, el siguiente aspecto a revisar será la localización del punto medio del eje de la coronación de la presa, que es el que ICOLD considera que fija su posición exacta. Este trabajo se irá efectuando y se completará a lo largo del año 2016.

7. Fichas técnicas

Como ya se ha indicado, de todas las presas que se encuentran actualmente en construcción y de las que previsiblemente se van a construir en un futuro muy próximo, se efectúa a continuación una breve descripción del avance las del recrecimiento de Yesa (en ejecución desde el año 2000) así como de las características más básicas de la presa que sustituirá al recrecimiento del embalse de Santolea, del que se ha desistido por motivos técnicos.

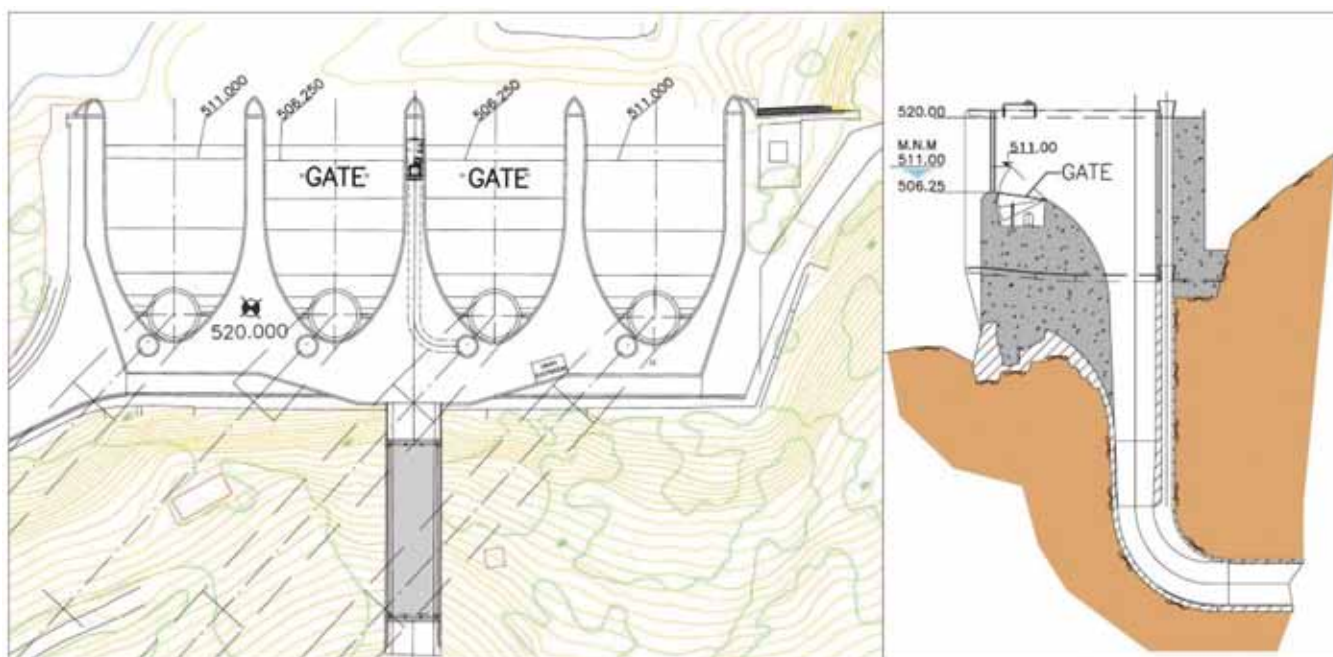
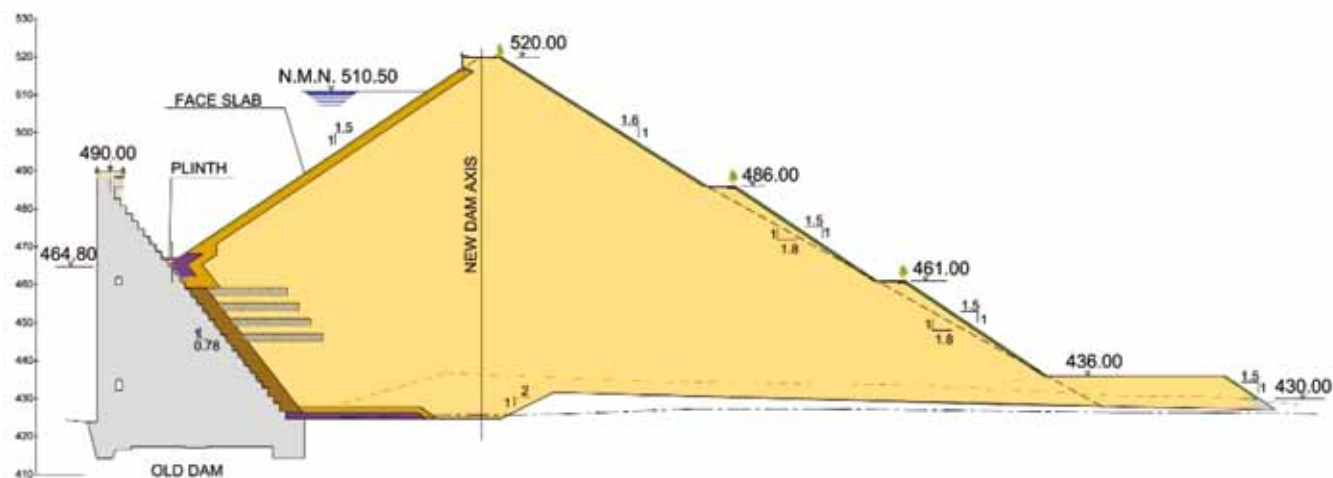
Recrecimiento de Yesa

El recrecimiento de la presa de Yesa consiste en la construcción de una presa de materiales sueltos apoyada en la presa actual (de gravedad y planta recta y que fue construida a principios del siglo XX) a 2/3 de la altura de esta, a base de un cuerpo de gravas impermeabilizado con una pantalla de hormigón armado situada en su paramento de aguas arriba. Esta solución permitirá elevar la cota de coronación de la presa actual (490,00 y 76,50 m de altura sobre cimientos) en unos 30 m (520,0 y 108 m de altura sobre cimientos) para así incrementar la capacidad del embalse de los 470 hm³ actuales a los 1.079 hm³.

La ejecución de las obras de este recrecimiento comenzó en el año 2000, y actualmente los trabajos avanzan a buen ritmo y con absoluta normalidad, habiéndose colocado aproximadamente la mitad del volumen del cuerpo de presa que es preciso construir.

La principal ventaja de la solución adoptada para este recrecimiento es que permite durante la construcción mantener en servicio el canal de Bárdenas, con el que se riega una importante zona del orden de 80.000 ha, y cuya explotación comenzó en el año 1959.

El aliviadero de la presa recrecida estará situado en la ladera izquierda de la cerrada y aprovechará los cuatro



túneles existentes del aliviadero actual. Se tratará de un aliviadero mixto con compuertas en dos de sus embocaduras y de labio fijo en las otras dos.

En julio de 2012, durante las labores de ejecución de las obras, se detectó en el estribo derecho de la cerrada un movimiento de esa ladera cuya velocidad fue creciente en el tiempo hasta alcanzar un máximo de 40 mm/semana.

Como consecuencia, se tuvo que desalojar las viviendas de dos urbanizaciones ubicadas en dicha ladera y que se encontraban muy próximas a la zona de ejecución de las obras.

Simultáneamente con el desalojo, se comenzaron las obras de estabilización de dicha ladera, obras declaradas de emergencia, que consistieron en la excavación de



1,5 millones de metros cúbicos, la ejecución de un tacón al pie de la zona movida, aguas arriba de la presa actual, para su contención, con un volumen total de 30.000 m³, el hormigonado del entorno del cuerpo de presa situado en esa parte del estribo, la ejecución de una red de drenaje superficial y, por supuesto, la instalación de un importante número de elementos de auscultación para el seguimiento continuo de los movimientos de dicha ladera durante todo el proceso de ejecución de las labores de estabilización.

Actualmente, la ladera no tiene movimientos significativos, y los puntos que se mueven, lo hacen con un movimiento extremadamente lento (<10 mm/año), atendiendo a la Clasificación Internacional de Movimientos de Laderas de Cruden y Varnes (1996).

Alternativa del recrecimiento de la presa de santolea: presa del cañón de santolea

Este proyecto persigue sustituir el recrecimiento de la presa actual de Santolea, de cuya construcción se ha desistido por motivos técnicos. La nueva solución consistirá en la ejecución de una nueva presa en un estrecho cañón, a 1,5 km aguas arriba de la actual, incrementando en 16 m el nivel máximo normal del embalse cerrado por esta última.

Con esta nueva presa se constituirá un sistema de tres embalses que, de aguas arriba a aguas abajo, serán:

- Embalse del puente de Santolea, ya construido y que con 17,67 hm³ tiene la función de fijar la lámina del embalse en cola a su N.M.N. (596,00) y de suministrar la demanda de agua durante la construcción del recrecimiento.
- Embalse del cañón de Santolea, objeto de este proyecto, con 81,75 hm³ de capacidad entre esta presa y la del Puente. Tiene el mismo N.M.N. del embalse de cola.
- Embalse de Santolea entre la presa del mismo nombre y la presa del cañón. Contará con 5,42 hm³ de capacidad después de ejecutado el proyecto, ya que se actúa sobre su aliviadero fijando su N.M.N. a cota 580.

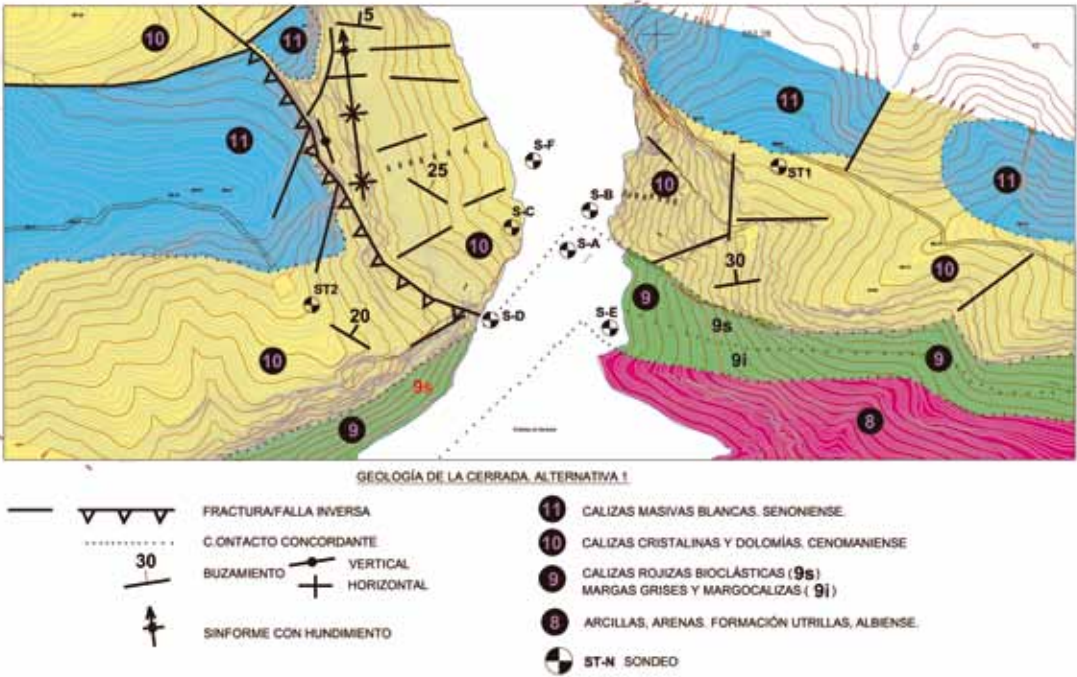
La nueva presa se situará en una cerrada conformada por calizas cretácicas con un buzamiento general de 30° hacia aguas abajo, con dirección aproximada este-oeste.

Se ha previsto una presa de gravedad, de hormigón compactado, con planta ligeramente arqueada a base de dos

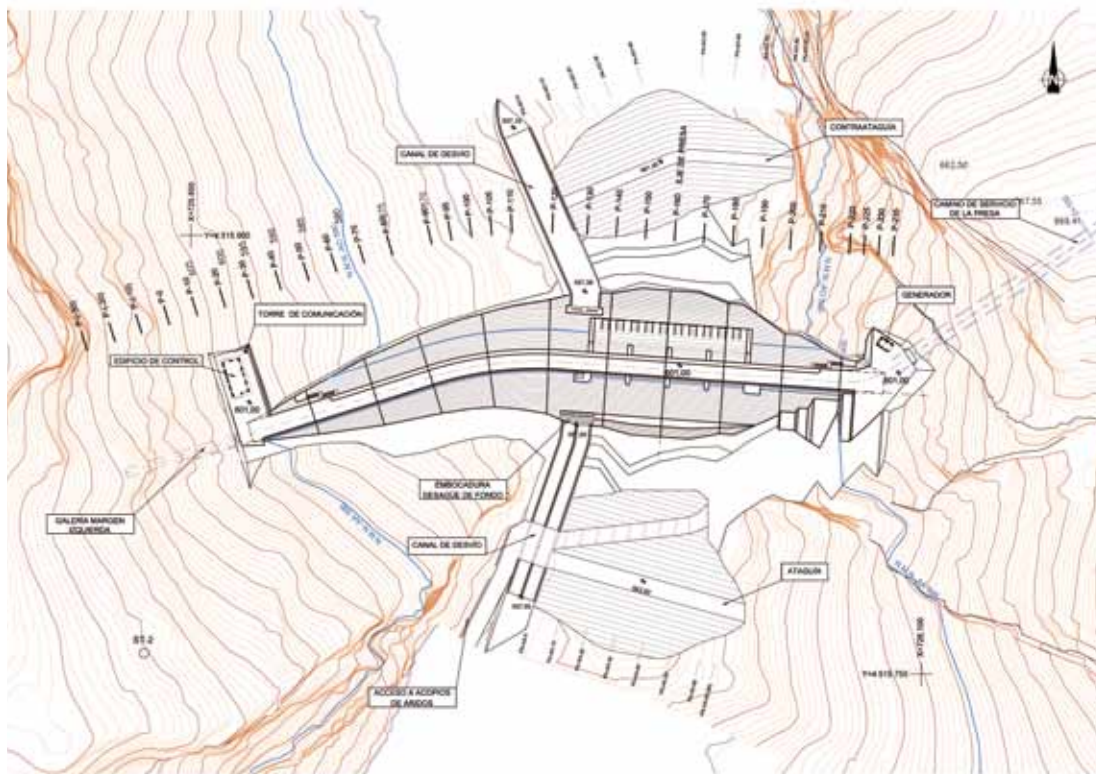




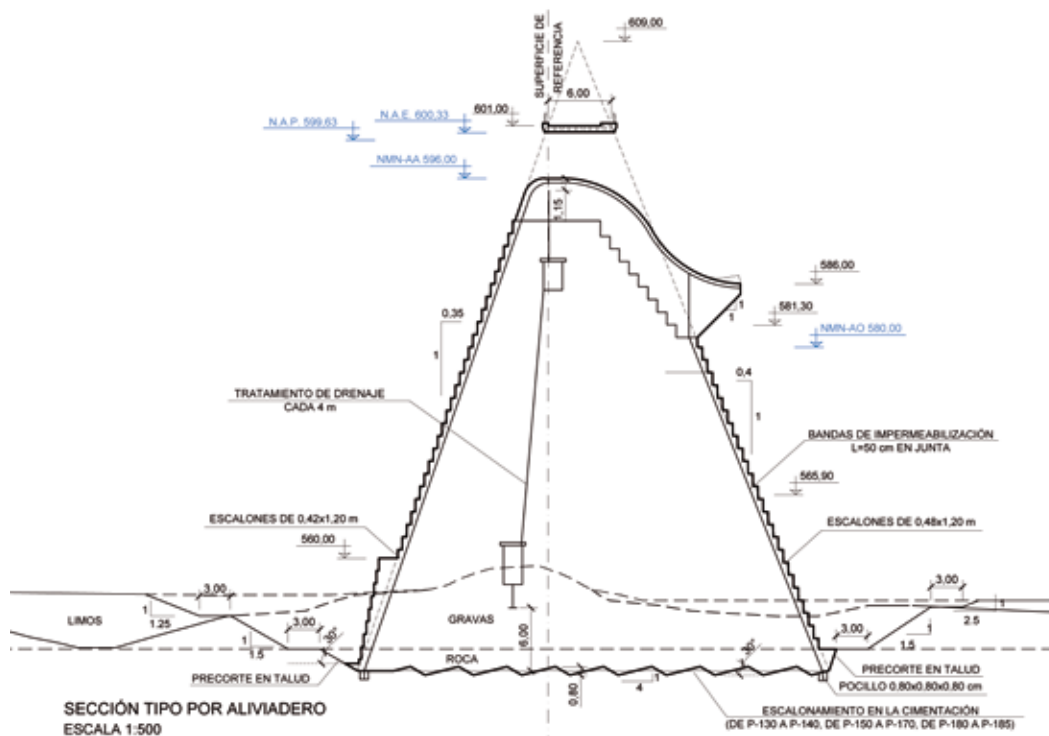
Esquema general



Geología general



Planta general



Sección tipo

alineaciones rectas acordadas por un radio circular de 120 m. El ángulo entre las alineaciones es de casi 20°.

Se ha diseñado una sección tipo trapecial de 6 m de anchura en coronación y taludes escalonados con inclinaciones medias 0,35(H):1(V) aguas arriba y 0,40(H):1(V) aguas abajo. El vértice de la sección se sitúa a la cota 609 m.s.n.m., y la coronación a la 601,00. La altura máxima de la presa sobre cimientos será de 59 m.

Al disponer la presa dos embalses, uno aguas arriba y otro aguas abajo (el que cierra la actual presa de Santolea), la hipótesis de carga más desfavorable es la accidental de embalse lleno y desembalse rápido aguas abajo sin disipación de presiones intersticiales, motivo por el que se ha diseñado con esos taludes tan poco convencionales.

En total se crean 11 bloques de unos 20 m de anchura, aproximadamente, con una longitud total de coronación de 220 m.

Una de las grandes dificultades a salvar va a ser, sin duda, las instalaciones para fabricar el hormigón, así como la forma de poner este en obra. En este sentido, se ha previsto utilizar, como ya se hiciera en la presa de aguas arriba, en la presa del puente, el sistema conocido como vacuum chute.

En lo que se refiere al aliviadero, se sitúa en la parte intermedia del cuerpo de presa, en los bloques centrales; será un 'creager' de labio fijo, con umbral a la cota 596 m, y consistirá en cuatro vanos de 12,00 m de longitud libre.

La capacidad máxima del aliviadero, con el nivel de embalse en coronación, es de 900 m³/s aproximadamente. El caudal aliviado con N.A.P. es de 536 m³/s, y con N.A.E. 709 m³/s.

El desagüe de fondo se compone de dos conductos rectangulares de 2,00 x 2,50 m dominados, cada uno, por dos compuertas en serie tipo Bureau. Su capacidad de evacuación oscilará entre 224 m³/s (dos conductos) sin embalse aguas abajo, y 150 m³/s con embalse. **ROP**



Q96. Innovación en el uso de presas y embalses



F. Javier Baztán Moreno

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Vocal titular del Comité Nacional Español de Grandes Presas

Resumen

En este artículo se presenta un resumen del desarrollo de la cuestión Q.96 del XXV Congreso Internacional de Grandes Presas de Stavanger sobre 'Innovación en el uso de presas y embalses', analizando el informe del ponente general y las comunicaciones seleccionadas para su presentación oral, dedicando una especial atención a las comunicaciones presentadas por los ingenieros españoles.

Palabras clave

Innovación, cambio climático, almacenamiento de energía, centrales hidroeléctricas reversibles, presas multipropósito, gestión de recursos, biodiversidad

Abstract

This article presents a summarize of Q.96 from the XXV International Congress on Large Dams in Stavanger about "Innovation in the use of dams and reservoirs", analyzing the general reporter speech and the papers selected for oral presentation, placing particular emphasis on those presented by Spanish engineers.

Keywords

Innovation, climate change, energy storage, pumped storage power plants, multipurpose reservoirs, resources management, biodiversity

1. Introducción

El tema elegido para la Q.96 del XXV Congreso de ICOLD 'Innovación en el uso de presas y embalses', que tuvo lugar en Stavanger (Noruega), está motivado por el hecho de que el mundo está cambiando a una velocidad considerable y es, por lo tanto, cada vez más importante la adaptación de nuestro sector a estos cambios.

Esta evolución está motivada, por una parte, por el auge de la energía hidroeléctrica en el mundo, consecuencia de una creciente demanda de energía. La energía hidráulica se complementa, a su vez, con la aparición de plantas de producción de energía eléctrica intermitente (eólica y solar), lo que hace necesario poder almacenarla para asegurar la estabilidad en la red, cobrando protagonismo para ello las centrales hidráulicas reversibles, que permiten el almacenamiento de energía.

A este cambio se le suma igualmente el creciente consumo de agua para regadío por el crecimiento de la población que, unido al cambio climático, hace necesaria la construcción de estructuras que almacenen agua para épocas

de sequía y protejan de las inundaciones en épocas de avenidas. La ecología es cada vez más limitante en estos proyectos.

Estos cambios han motivado la aparición de embalses multifunción, compaginando la generación de energía eléctrica con la regulación del agua para riego, protección frente a avenidas y reserva de agua para épocas de sequía.

2. Temarios de la cuestión Q96 e informes presentados

Los temas seleccionados por ICOLD para la Q.96 fueron:

- Tema 1: 'Innovación en la función de las presas y embalses (almacenamiento de energía, presas en el mar)'.
- Tema 2: 'Presas multipropósito y embalses para abordar el cambio climático y la gestión requerida de los recursos hidráulicos (planificación, diseño y operación)'.
- Tema 3: 'Presas de hormigón y presas de materiales sueltos pequeñas (necesidades en el diseño y especificaciones, construcción e instrumentación, nuevas soluciones)'.

- Tema 4: ‘Necesidad de mejoras técnicas y evolución de la profesión de ingeniería de presas para garantizar continuidad en el conocimiento y experiencia’.

Se recibieron 41 ponencias de 17 países (ver tabla 1), destacando la contribución europea (50 %) y la asiática (30 %). La distribución de las contribuciones en los distintos subtemas de la Q.96 fue la siguiente:

- 6 ponencias sobre centrales hidroeléctricas con almacenamiento mediante bombeo.
- 4 ponencias sobre embalses multipropósito.
- 4 ponencias sobre control de inundaciones.
- 4 ponencias sobre cambios en necesidades y cambio climático.
- 4 ponencias relativas a biodiversidad y medio ambiente.
- 4 ponencias sobre presas pequeñas.
- 3 ponencias con cuestiones de gestión técnica.
- 3 ponencias sobre presas y riesgos.
- 6 ponencias que abarcan otros temas.

País	Contribuciones
Australia	2
Burkina Faso	1
China	3
Eslovaquia	1
España	5
Francia	7
Irán	1
Italia	2
Japón	5
Noruega	2
República Checa	1
Rumanía	2
Rusia	4
Sudáfrica	1
Reino Unido	1
EE. UU.	3

Tabla 1. Contribuciones entregadas por países para la Q.96 del XXV Congreso de ICOLD

La sesión se abrió con una exposición general del papel que tienen la innovación y la creación de nuevo conocimiento en la ingeniería de presas. La exposición fue realizada por el Chairman de la Q96, Ignacio Escuder Bueno (fig. 1), al que acompañaron Eric Halpin, del USACE, y Luciano Canale, del Banco Mundial, que dieron una visión de cómo la gobernanza requiere de innovación y es a su vez generadora de progresos significativos en campos tan importantes como la gestión de riesgos.



Fig. 1. Ignacio Escuder Bueno, chairman de la cuestión Q96

La sesión continuó con la presentación de un informe general por parte del ponente general Luc Deroo, al que siguieron la presentación oral de 22 ponencias seleccionadas, agrupadas en torno a los cuatro ejes temáticos ya comentados:

- Tema 1. ‘Innovación en la función de las presas y embalses (almacenamiento de energía, presas en el mar,...)’: 6 presentaciones (ver tabla 2).
- Tema 2. ‘Presas multipropósito y embalses para abordar el cambio climático y la gestión requerida de los recursos hidráulicos (planificación, diseño y operación)’: 9 presentaciones (ver tabla 3).
- Tema 3. ‘Presas de hormigón y presas de materiales sueltos pequeñas (necesidades en el diseño y especificaciones, construcción e instrumentación, nuevas soluciones)’: 5 presentaciones (ver tabla 4).
- Tema 4. ‘Necesidad de mejoras técnicas y evolución de la profesión de ingeniería de presas para garantizar continuidad en el conocimiento y experiencia’: 2 presentaciones (ver tabla 5).

Autores	Título
M. Hughes	<i>'Swansea Bay Tidal Lagoon'</i>
H. Janssen	<i>'Delta works in Netherland'</i>
Mr. Han il Kim	<i>'Sihwa tidal plant'</i>
F. Lemperiere	<i>'New tidal energy solutions'</i>
G. Ruggieri	<i>'Benefits from hydropower dams and pump storage powerplants'</i>
Javier Baztán, A. Martin, N. Rodríguez	<i>'Pumped storage projects between existing reservoirs in Spain by Gas Natural Fenosa'</i>

Tabla 2

Autores	Título
Satoru Ueda	<i>'World Bank strategy for capacity development and climate change for hydropower and dams development'</i>
E. Branche	<i>'Sharing the water uses of multipurpose hydropower reservoirs: the SHARE concept'</i>
Mr. Khaziakhmetov	<i>'Flood control HPPs in the Amur River basin'</i>
Mikio Nonaka	<i>'Flood control for typhoon 18 at the yodo river system in 2013'</i>
Mark Locke	<i>'Dams to Deliver Environmental Flows'</i>
Lars eid Nielsen	<i>'Rossvatn and Falforsen Basins'</i>
JP Chabal	<i>'Dams and the Environment: update from ICOLD Technical Committee'</i>
Martin J. Teal	<i>'Preserving Regulated Rivers Through Strategic Dam Operations'</i>
Tor Haakon Bakken	<i>'The effects of change in climate and irrigation practice on the hydropower resources in Kizilirmak river (Basin, Turkey)'</i>

Tabla 3

Autores	Título
Mr. Masakazu Matsuura & Mr Ueno	<i>'Technological development of small-low earthfill dams in Japan'</i>
Mr Founeme Millogo	<i>'Small dams in Burkina Faso'</i>
D. Puiatti	<i>'Lime for innovative small dams'</i>
H. Blohm	<i>'The need for small dams - current trends USA'</i>
Paul Royet	<i>'"RISBA" Project: Safety of innovative low dams in the Alps'</i>

Tabla 4

Autores	Título
E. Halpin e Ignacio Escuder Bueno	<i>'Role of knowledge on dam safety governance'</i>
E. Cifres	<i>'Dams and River Basin Management: update from ICOLD Technical Committee'</i>

Tabla 5

3. Resumen de las contribuciones españolas

Las contribuciones españolas a la Q96 fueron las siguientes:

- Ponencia presentada por el *chairman* de la cuestión Q96, Ignacio Escuder Bueno, profesor de la Universidad Politécnica de Valencia:

- 'Gobernanza inteligente de programas de infraestructuras: hacer frente a la nueva generación de desafíos con éxito'.

- Ponencias españolas presentadas a la Q96 y que fueron seleccionadas para su exposición oral:

- 'Gestión de Presas y Cuencas hidrográficas: novedades del Comité Técnico de ICOLD'. Enrique Cifres.

- 'Proyectos de centrales hidroeléctricas reversibles entre embalses existentes en España de Gas Natural Fenosa'. Javier Baztán, Nuria Rodríguez y Ana Martín de Gas Natural Fenosa IDG.

-Ponencias españolas presentadas a la Q96 sin presentación oral:

- ‘Los proyectos hidráulicos multipropósito de Nandi Forest y Ewaso Ng’iro en Kenia’. José R. González Pachón, Juan Ojeda Couchoud y Jaime Ruiz.

- ‘Necesidad de formar profesionales en seguridad de presas: lecciones aprendidas del fallo de la presa de Aznalcóllar’. J. Polimón, vicepresidente de ICOLD y presidente de SPANCOLD.

Se resumen a continuación las ponencias:

3.1. Gobernanza inteligente de programas de infraestructuras: hacer frente a la nueva generación de desafíos con éxito

La ponencia fue presentada por Ignacio Escuder Bueno, profesor de la Universidad Politécnica de Valencia así como presidente de iPresas, y Eric Halpin, del USACE, e incluida dentro del tema 4 –‘Necesidad de mejoras técnicas y evolución de la profesión de ingeniería de presas para garantizar continuidad en el conocimiento y experiencia’–.

La gobernanza inteligente se puede definir como el conjunto de principios, factores y capacidades que constituyen una forma de gobernar capaz de hacer frente al estado y exigencias de la sociedad.

La ponencia relato como por una parte, el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de Estados Unidos (USACE), que posee y explota 700 grandes presas y 2.500 sistemas de diques (fig. 2), y Estados Unidos ha implantado técnicas para evaluar los riesgos debidos a numerosos sucesos como inundaciones, desbordamientos, fallos de presas, etc. El USACE tiene su propia regulación, capaz de desarrollar sus propias políticas y procedimientos en materia de seguridad. Para ello, establecen grupos organizados con objetivos diferentes (evaluar los riesgos, desarrollar modelos), establecen procedimientos para caracterizar los riesgos e implantar normas (estándares y criterios técnicos, guías y programas de políticas).



Fig. 2. Presas y diques del USACE en Estados Unidos

En la ponencia se trató igualmente el caso de España. En nuestro país, los periodos de sequía y lluvias explican la necesidad de las 1.200 presas que están construidas, siendo el país europeo con más número de grandes presas y el cuarto del mundo. Un tercio de las grandes presas españolas son propiedad del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Magrama). España pertenece a la Unión Europea, por lo que la legislación europea nos afecta en la gestión de presas.

En cualquier caso, el marco legal que define los criterios generales en cuestiones de seguridad de presas en España es responsabilidad del Magrama, a través de la Secretaría del Estado de Medio Ambiente y la Dirección General del Agua. El desarrollo de este marco legal comenzó en 1967 con la 'Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas'.

En España, tanto la Universidad Politécnica de Valencia como el Comité Nacional Español de Grandes Presas (SPANCOLD) han tenido mucho que ver en el desarrollo de la gestión de riesgos en materia de seguridad de presas. El proyecto piloto de Magrama 2008-2013 consistió en el desarrollo y la comprobación de las normas de seguridad de presas y la gestión de riesgos y evaluación cuantitativa de estos por la Confederación Hidrográfica del Duero. Este proyecto propuso algunas contribuciones a la 'Guía Técnica de Explotación de Presas y Embalses: Análisis de Riesgos Aplicado a la gestión de Seguridad de Presas y Embalses'.

Los casos de Estados Unidos y España tienen algunas similitudes y diferencias:

- La principal diferencia es la escala (EE. UU. como único país comparado con el conjunto de países de la Unión Europea) y los diferentes sistemas legales.
- Desde la primera mitad del siglo XX, EE. UU. y España han sido países pioneros en el concepto de la gestión integrada del agua, con la creación de la Confederación Hidrográfica del Ebro en 1920 y las Autoridades del Río Mississippi y Afluentes en 1930. En la segunda mitad del siglo pasado, ambos países comenzaron procesos paralelos en modernización del concepto de seguridad y normativa.
- En las últimas décadas, tanto EE. UU. como España, se han enfrentado a catástrofes con pérdidas de vida humana. España ha realizado sus propios avances a partir de las pautas

americanas en cuestión de seguridad de presas y más tarde en gestión de riesgos.

- Las experiencias españolas han mostrado cómo tomar decisiones, dando un nuevo punto de vista, nuevas técnicas y métodos innovadores para tomar decisiones.
- El USACE es una fuente de inspiración a gran escala hoy en día, tanto en EE. UU. como globalmente.

Gracias a estos avances en gestión de riesgos, actualmente han crecido las inversiones que conllevan grandes riesgos y se toman mejores decisiones estudiando alternativas, aumentando la eficiencia y la eficacia. Sin embargo, aun hay muchas organizaciones que no han desarrollado tanto la gestión de riesgos y quedan muchos retos que abordar en este aspecto.

3.2. Gestión de presas y cuencas hidrográficas: novedades del Comité Técnico de ICOLD

La presentación invitada por la mesa de la Q96 corrió a cargo de Enrique Cifres (fig. 3), chairman del Comité Técnico Internacional de Presas y Gestión Integrada de Cuencas, pudiendo englobarse la ponencia en el tema 4 –'Necesidad de mejoras técnicas y evolución de la profesión de ingeniería de presas para garantizar la continuidad en el conocimiento y experiencia'–.



Fig. 3. Presentación de Enrique Cifres (chairman del Comité Técnico Internacional de Presas y Gestión Integrada de Cuencas)

Comenzó el ponente exponiendo cómo en el siglo XXI se parte desde una posición muy extendida en la sociedad de que las presas son una agresión al medio ambiente y al medio social. La ponencia versó sobre la tendencia actual en el enfoque del problema a nivel mundial y en especial en los países emergentes y en vía de desarrollo, donde se ha producido una cierta recuperación en la financiación de proyectos de presas. El marco financiero y social condiciona de forma especial estos proyectos, muchas veces claves para el desarrollo.

Los principales retos son la seguridad alimentaria, el abastecimiento de las megaurbes en que se va concentrando la población, la influencia de las infraestructuras hidráulicas en la salud y en la propagación de enfermedades hídricas, la armonización de la oferta conjunta con energía renovables no reguladas y los nuevos condicionantes debido al cambio climático, en especial haciendo hincapié en los fenómenos extremos como sequías e inundaciones donde el rol de las presas será creciente.

Este Comité Internacional de Presas y Gestión Integrada de Cuencas desarrolla una nueva metodología para la evaluación de la sostenibilidad social de proyectos de presas, aplicable a nivel de cuenca, a fin de afrontar el reto de los conflictos de cuencas transfronterizas, los mecanismos *win-win*, la función multiuso de embalses y las sinergias financieras derivadas de ello.

3.3. Proyectos de centrales hidroeléctricas reversibles entre embalses existentes en España de Gas Natural Fenosa

La ponencia fue presentada por Javier Baztán, Nuria Rodríguez y Ana Martín, de Gas Natural Fenosa IDG, e incluida dentro del tema 1 –‘Innovación en la función de las presas y embalses’-. La presentación oral en el congreso corrió a cargo de Ana Martín (fig. 4).



Fig. 4. Presentación por parte de Ana Martín (Gas Natural Fenosa)

Comenzó la ponencia haciendo mención a cómo España hace frente al desafío de integrar la creciente producción de energías renovables no gestionable, principalmente eólica y solar. Esta integración necesita de sistemas de almacenamiento de energía. Gas Natural Fenosa (GNF) busca alternativas para almacenar energía, desarrollando proyectos de almacenamiento mediante bombeo con embalses existentes. Estos proyectos de centrales hidroeléctricas reversibles (CHR) tienen como objetivo utilizar la energía solar y eólica (intermitente) que no puede entrar en red, para bombear agua de un embalse a otro, y poder turbinar y generar energía cuando sea necesario.

GNF tiene en la actualidad tres nuevos proyectos de CHR en fases diferentes de desarrollo por el área de Ingeniería de Gas Natural.

Los 3 proyectos tienen en común el uso de presas y embalses existentes, lo que permite optimizar los costes y disminuye su impacto medioambiental y social. La elección de estos embalses se basó en conseguir proyectos con coeficientes L/H más interesantes y que a su vez fueran viables económicamente. Otra ventaja es la existencia de líneas de transmisión y accesos a la zona de obra, así como de canteras actualmente en desuso que podrán utilizarse como vertederos en el periodo de obra.

Un factor importante a tener en cuenta fue la ubicación de las nuevas tomas, encontrando el óptimo entre la profundidad mínima definida por la submergencia y la regulación del volumen necesario para el ciclo turbinación-bombeo, y las consideraciones constructivas, especialmente los accesos y la bajada del nivel del embalse durante la construcción.

En resumen, las presas existentes pueden ser una buena elección para implantar centrales hidroeléctricas reversibles para conciliar los criterios de sostenibilidad para una red estable y fiable.

Se realiza a continuación una breve descripción de las tres centrales reversible de Gas natural presentadas en la ponencia.

CHR Belesar III

Este proyecto utilizará el embalse de Belesar (654 hm³), con una altura de presa de 132 m, la más alta de España en su día, y un contraembalse, Peares, con 182 hm³ y una presa de 118 m de altura. Ambas pertenecen a GNF y están localizadas en el río Miño, en Lugo. La central tendrá instaladas 2 turbinas Francis reversibles, sumando una potencia de 215 MW, con un caudal máximo de turbinación de 180 m³/s, y 169 m³/s de bombeo.

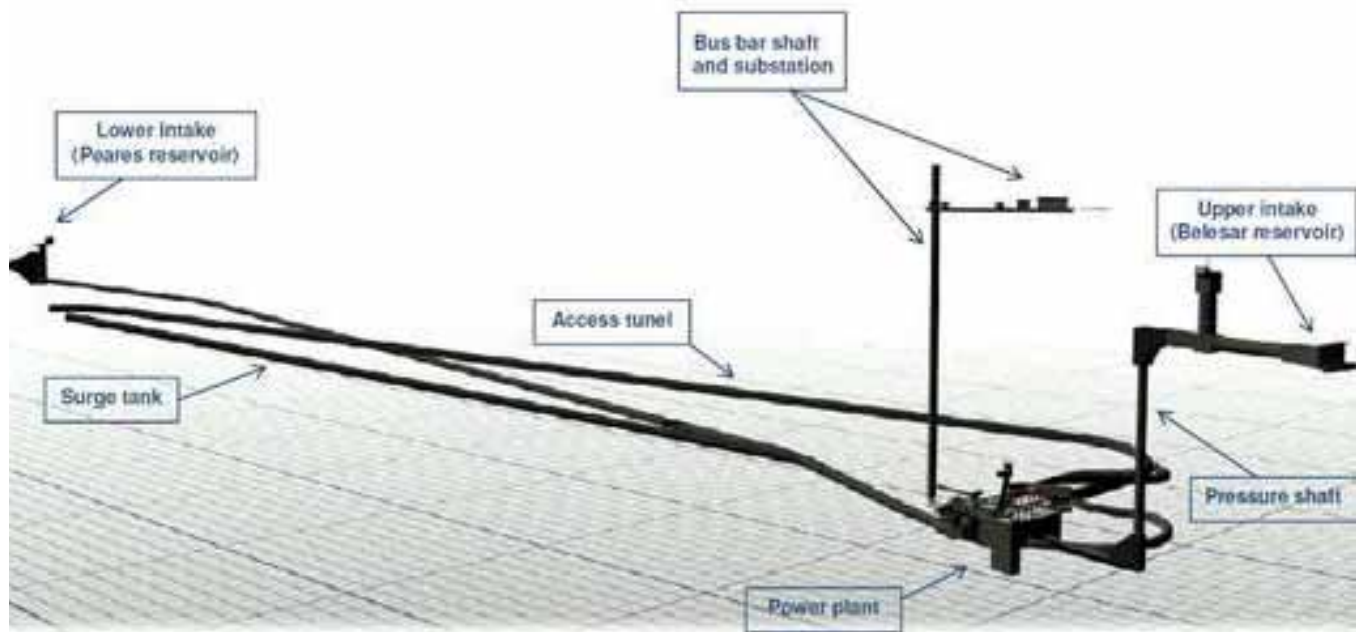


Fig. 5. Esquema de la CHR Belesar III



Fig. 6. Presa de Belesar



Fig. 7. Presa de Peares

Como se observa en el esquema (fig.5), el proyecto consiste en una toma superior en el embalse de Belesar (fig.6), túnel de toma, pozo de carga (de 115 m), túnel de presión, casa de máquinas en caverna y bifurcadores de entrada y salida, túnel de descarga, toma inferior en el embalse de Peares (fig.7), chimenea de equilibrio y túneles de acceso. La distancia entre embalses es de unos 3 km con un salto bruto de 137 m.

Para llevar a cabo la construcción de las tomas será necesario bajar el nivel de ambos embalses hasta una cota que permita ejecutar accesos hasta la zona de obra y trabajar en estas de forma segura. Este proyecto aprovechará la existencia de la línea de transmisión y subestación existente de Belesar, así como algunos accesos, y las antiguas canteras se utilizarán como puntos de vertido para los materiales sobrantes de la excavación. De esta forma, se consiguen proyectos con menor impacto medioambiental.

CHR Salas-Conchas

El embalse de Salas (fig. 8) tiene una capacidad de 75,6 hm³ y una presa de 50 m de altura, mientras que el contraembalse, Las Conchas (fig. 9), tiene una capacidad de 69 hm³ y una presa con 46 m de altura. Ambas pertenecen a GNF y se sitúan en la frontera con Portugal, en los ríos Salas y Limia. La central estará equipada con 2 turbinas Francis reversibles (2x185,5 MW), con un caudal máximo de turbinación

y bombeo de 150 m³/s y 123,7 m³/s respectivamente. Las estructuras principales tienen una configuración similar a la de BIII, en este caso con una distancia entre embalses de 6 km y un salto bruto de 285 m (fig. 10).

CHR Edrada

El embalse de Edrada tiene una capacidad de 10,5 hm³ con una presa de 37 m de altura, mientras que el embalse de San Esteban tiene un volumen de operación de 213 hm³ y una presa de gravedad de 115 m de altura. Ambos están en Orense, localizados en los ríos Edrada y Sil respectivamente. La central tendrá 3 grupos reversibles de 255,7 MW cada uno, con un caudal máximo de turbinación de 150 m³/s y 115 m³/s para bombeo.

El proyecto consta de estructura similar a Belesar III y Salas-Conchas, en este caso con una distancia entre embalses de 5 km y un salto bruto de 585 m (fig. 11).



Fig. 8. Presa de Salas



Fig. 9. Presa Las Conchas



Fig. 10. Esquema de la CHR Salas-Conchas

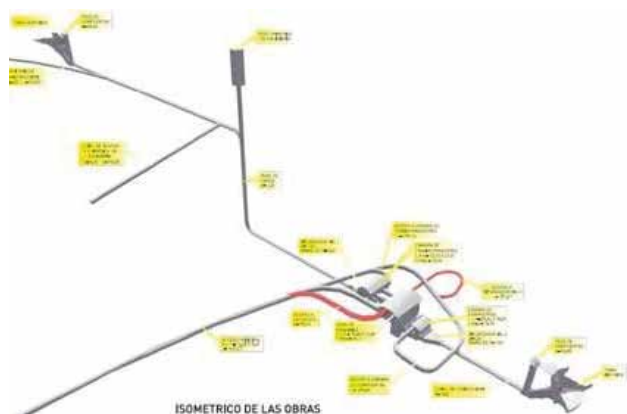


Fig. 11. Esquema de la CHR Edrada

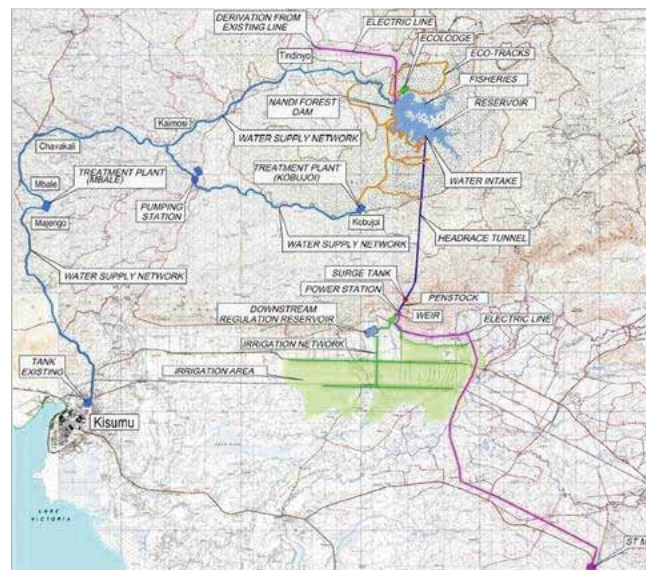


Fig. 12. Proyecto Nandi Forest

3.4. Los proyectos hidráulicos multipropósito de Nandi Forest y Ewaso Ng'iro en Kenia

La ponencia fue escrita por José R. González Pachón, Juan Ojeda Couchoud y Jaime Ruiz Casanueva, de la empresa Typsa, e incluida dentro del tema 2 –‘Embalses multipropósito’. Se realiza a continuación un resumen de la presentación recogiendo los aspectos más importantes destacados por los autores:

El Gobierno de Kenia está impulsando proyectos de desarrollo integrado para aumentar el crecimiento y sostenibilidad del país. En este programa se encuentran 6 proyectos de presas multipropósito en desarrollo, la mayoría con generación de energía como principal objetivo.

Desde enero de 2010 hasta diciembre de 2013, la empresa consultora española Typsa en colaboración con AMA, empresa keniana, llevaron a cabo los Estudios de Factibilidad, Estudios de Impacto Ambiental y Proyectos Constructivos de los proyectos de Nandi Forest y Ewaso Ng'iro South, ambas presas multipropósito.

a) Proyecto Nandi Forest, localizado en la cuenca del río Yala (fig. 12): presa de hormigón compactado con rodillo de 69 m de altura, con 230 hm³ de embalse y un túnel de desvío de 14 km que lleva a la central hidroeléctrica en Nyando de 50MW de potencia, generando un salto de 550 m y un embalse de 5,5 hm³ aguas abajo. El caudal, una vez

turbinado, se utilizará para la zona regable de Kano Plain, de 7.250 ha, adaptando el caudal turbinado a la demanda de agua para riego. Además, el proyecto incluye el abastecimiento de agua a 600.000 habitantes, pesca interior, desarrollo de turismo en la zona, 14 km de carreteras y 10 km de línea eléctrica.

b) Proyecto Ewaso Ng'iro South, en la zona baja de la cuenca del río Ewaso Ng'iro (fig. 13), consiste en un aprovechamiento hidroeléctrico en cascada con una potencia total instalada de 180 MW, incluyendo un trasvase del río Amala: presa de materiales sueltos con núcleo de arcilla de 150 m de altura y 50 MW; presa arco de 54 m de altura y central en derivación de 56 MW con un túnel de desvío de 7 km; y una presa de gravedad de hormigón de 34 m de altura y central en derivación de 99 MW y túnel de desvío de 4,4 km. Otro usos adicionales son: embalse de regulación secundaria de 0,75 hm³, regadío de 4.400 ha, abastecimiento de agua a 3 poblaciones, pesca interior, desarrollo de turismo, más de 175 km de carreteras y accesos y sobre 160 km de nuevas líneas de transmisión.

Estos dos grandes proyectos tienen un gran componente social y medioambiental debido a los impactos que este tipo de trabajos tienen en la zona de implantación. En este caso se tuvo en cuenta el efecto de la deforestación, incluyendo en el proyecto la reforestación de la zona afectada, y los caudales ecológicos necesarios.



Fig. 13. Proyecto Ewaso Ng'iro South

3.5. Necesidad de formar profesionales en seguridad de presas: lecciones aprendidas del fallo de la presa de Aznalcóllar
La ponencia fue escrita por J. Polimón, vicepresidente de ICOLD y presidente de SPANCOLD y está englobada en el tema 4 –‘Necesidad de mejoras técnicas y evolución de

la profesión de ingeniería de presas para garantizar continuidad en el conocimiento y experiencia’. El autor destaca la importancia de formar profesionales transmitiéndoles lecciones aprendidas. Por este motivo, se explicó a continuación el caso del fallo de la presa de Aznalcóllar y las lecciones aprendidas del mismo.



El proyecto consistía en una balsa de contención de residuos. La zona en la que la presa fue completamente destruida es en su zona más alta, de 27,19 m. Como se observa en la sección transversal (fig. 14) se colocó una pantalla en los aluviones para evitar la filtración, y un filtro que no llegaba hasta la coronación, ¿por falta de material de filtro?

Tras el fallo, desapareció una longitud de 45 m de presa y la zona adyacente, la balsa pequeña, sufrió deslizamientos. El fallo ha sido analizado por diferentes expertos, llegando a una secuencia basada en los siguientes hechos:

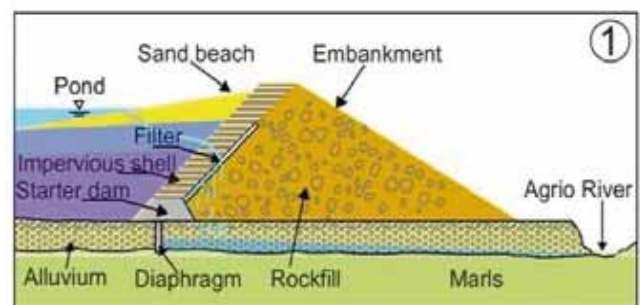


Fig. 14. Planta y sección transversal de la presa de Aznalcóllar

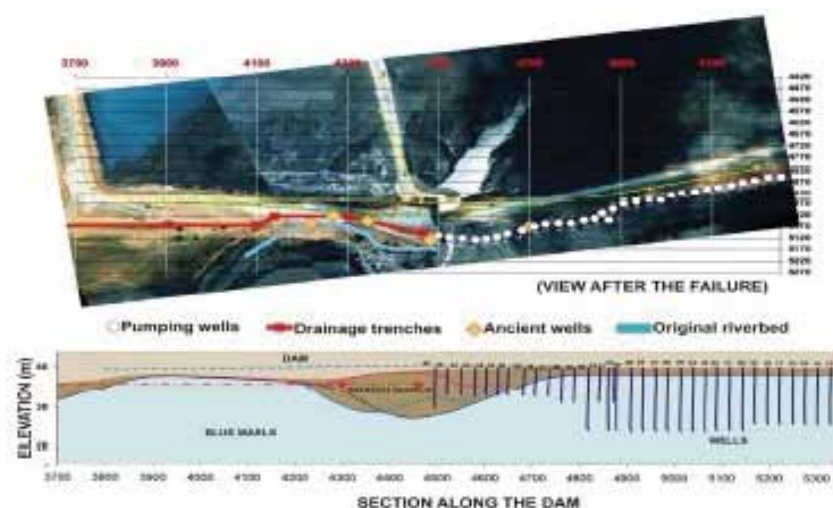


Fig. 15. Sistema de drenaje presa de Aznalcóllar

- Grandes filtraciones en el pie de la presa desde noviembre de 1994.
- Inyección de lechada en la zona de unión en 1995.
- Perforaciones en el pie de presa para frenar las filtraciones: 11 en 1995 y 46 en 1997.
- Fugas de agua de 1.000 m³/h en febrero de 1998.

La siguiente imagen (fig. 15) muestra el sistema de drenaje puesto en operación en 1996-1997 formado por zanjas de drenaje al sur y pozos de bombeo en la zona norte. Otra pregunta es: ¿por qué se perforaron los pozos creando una zona débil justo en la zona del pie de presa? Los motivos de estos pozos de 11 m de profundidad pueden ser varios.

La secuencia del fallo pone en evidencia los problemas relacionados con la poca altura que alcanzan los filtros, favoreciendo la erosión interna, y la importancia de las filtraciones en la cimentación a través de las margas azules. La experiencia muestra que los fallos suelen estar provocados por la suma de diferentes causas: construcción deficiente (diferencias entre lo proyectado y lo construido), excesivo volumen embalsado, filtraciones forzadas a través de los pozos de bombeo, ausencia de avisos de desplazamientos, falta de gestión, etc.

La lección aprendida de este proyecto que destaca el autor es que es primordial tener un equipo de operación con experiencia en explotación de presas. Esto conduce a la necesidad de formación del personal en seguridad de pre-

sas. SPANCOLD, consciente de esta necesidad ofrece un Máster Internacional en Explotación y Seguridad de Presas y Balsas.

4. Resumen general. Informe del reporte general

Fue ponente general de la Q.96 Luc Deroo (Francia). En este resumen general, en primer lugar, se establece el marco actual y las tendencias económicas y ambientales que afectan a nuestro sector. A partir de este marco general se exponen las ideas recogidas en las diferentes ponencias que fueron presentadas y, por último, la evolución que se espera para los próximos años. A continuación, se resume lo tratado por el ponente en su informe general.

4.1. Datos y cifras globales que llevan al cambio en el uso de presas

En esta sección el ponente trató de dar una idea global de diferentes hechos que ayudarán a entender las tendencias en los usos de embalses.

En el Foro Económico Mundial de 2014 se establecieron los 10 riesgos globales de alto interés, de los cuales 5 están relacionados con el sector hidráulico: crisis del agua, crisis alimentaria, insuficiente mitigación del cambio climático, mayor frecuencia en eventos climáticos extremos (inundaciones, tormentas, incendios) y fuerte diferencia de ingresos.

4.1.1. Evolución de necesidades

De acuerdo con el estudio realizado por la Agencia Internacional de Energía, la demanda de electricidad se espera que crezca desde los 18.000 TWh en 2011 hasta los 38.000 TWh

en 2050. La contribución hidroeléctrica actualmente es del 16 % aproximadamente.

Como se puede ver en la figura 16, en los últimos años se ha producido un considerable aumento de la capacidad de energía hidroeléctrica instalada en el mundo (datos del Registro de Presas en el Mundo, ICOLD).

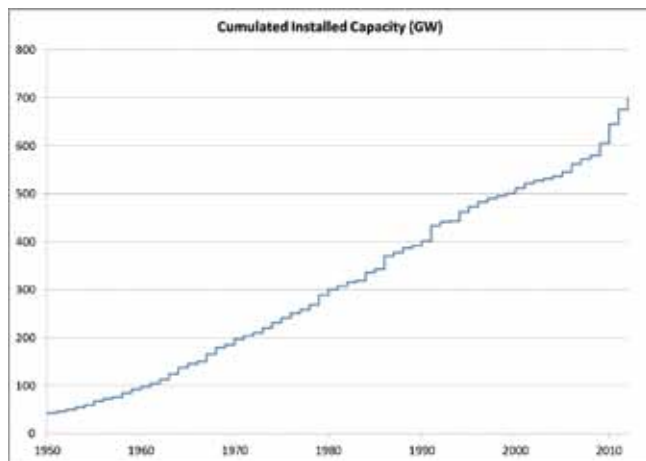


Fig. 16. Capacidad instalada acumulada (centrales hidroeléctricas)

En Europa la capacidad de almacenamiento de energía alcanzó los 45 GW en 2011 y se espera un aumento de 27 GW hasta 2020. Teniendo en cuenta que la energía generada es de 3.200 TWh en Europa, la capacidad de almacenamiento respecto a la energía generada es de 14 MW/TWh mientras que el ratio mundial es de 7 MW/TWh. Esto se explica por la gran capacidad instalada de energía renovable, intermitente. Extrapolando estos datos, con un ratio de 14 MW/TWh, la necesidad mundial de almacenamiento de energía sería de 400 GW en 2050. Estos datos son groseros y podrían variar mucho, basado en otras consideraciones, una ponencia predice unas necesidades de hasta 1.500 GW en 2050.

En cuanto a la necesidad de riego, se cree que de las 287 millones de ha de zonas de regadío (2.600 km³ de agua) en 2005, se podrían alcanzar 318 millones de ha en 2050 (2.900 km³). Sin embargo, las proyecciones para el 2050 son variables debido a que el cambio climático afecta directamente a las necesidades de riego, así como la evolución en técnicas agrícolas que optimizan el uso del agua y los cambios en las dietas hacia alimentos que exijan más agua y el desarrollo de biocombustibles. En la siguiente gráfica (fig. 17) se muestra la tendencia de los últimos años de los embalses dedicados principalmente a regadío.

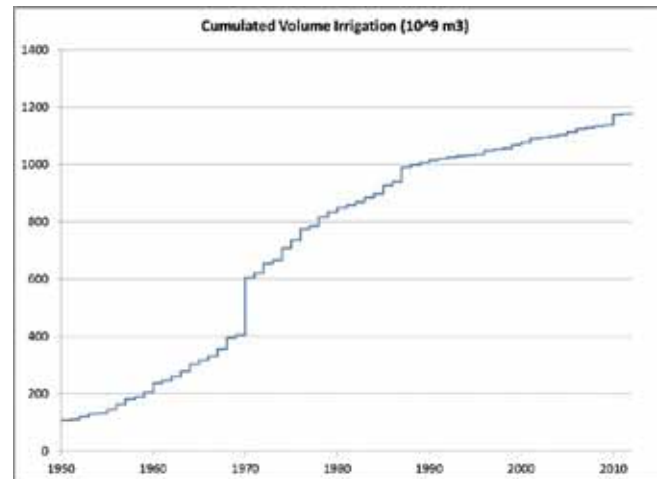


Fig. 17. Volumen acumulado de embalses dedicados principalmente a regadío

Debido al cambio climático, se calcula que la fracción de población expuesta en el siglo XX a avenidas con un periodo de retorno de 100 años podría ser a finales del siglo XXI tres veces mayor al año en zonas con altas emisiones que en las zonas que producen bajas emisiones.

4.1.2. Evolución de restricciones

La evolución de los recursos disponibles afecta directamente a nuestro sector. El cambio climático es un hecho, y tiene impacto en los cambios del volumen de precipitación, en la variabilidad (irregularidad estacional e interanual) y en la evapotranspiración. Los embalses aumentan el recurso hidráulico. ICOLD destaca el fuerte impacto que tiene la variabilidad de los caudales sobre generación de energía hidroeléctrica. En el caso de España, los recursos hídricos disponibles sin presas son de 9 % respecto a los recursos naturales, mientras que con presas alcanza el 50 %.

A priori las presas tienen una percepción negativa para la biodiversidad que debe moderarse mediante compensación de los impactos que tienen sobre los ecosistemas. Sin embargo, algunos embalses han tenido impacto ambiental positivo, convirtiéndose en hábitats. Incluso existen presas específicamente construidas para mantener la biodiversidad. Actualmente, la evaluación cuantitativa del impacto de los embalses en la biodiversidad es todavía una cuestión abierta.

4.1.3. Costes y Precios asociados a los distintos usos del agua
Basándonos en datos recientes, el coste asociado a la producción de un kWh, teniendo en cuenta la construcción y

operación de las centrales se muestra en la tabla 6. Se ha considerado un coste del carbón de 30 USD por tonelada.

	Discount rate 5%	Discount rate 10%	Main factor of variation
Nuclear	30 to 80	40 to 140	
Coal	55 to 120	70 to 140	Cost of CO ₂ capture
Gas	70 to 120	80 to 120	Cost of fuel
Onshore wind	50 to 160	70 to 240	Load factor
Offshore wind	100 to 190	150 to 260	Load factor
Solar cells	215 to more than 600	330 to more than 600	Load factor
Hydropower (incl. PSP)	10 to 150	30 to 300	Load factor

Tabla 6. Coste de producción eléctrica (USD/kWh), IEA 2010

El coste de la hidroeléctrica es muy variable, ya que incorpora diferentes tecnologías difíciles de comparar como la mini-hidráulica y las reversibles. La hidráulica es muy económica en condiciones favorables: con un coste de construcción de 2.000 USD/kW, factor de carga 5.000 horas, O&M 2 % al año y tasa de descuento del 5 %, el coste del kWh es de 33USD.

Para tener una idea sobre el coste de producción de 1 m³ de agua (USD/m³) se ha tenido en cuenta el coste de construcción y la regulación (Volumen regulado/volumen del embalse). No se ha tenido en cuenta el transporte (tabla 7).

Yield variability	Low regulation intensity (4)	Moderate regulation intensity (5)	High regulation intensity (6)
Construction conditions	Vreg / Vtot = 4	VReg / Vtot = 1.5	VReg / Vtot = 0.25
Favorable conditions (1)	0.02 USD/m ³	0.05 USD/m ³	-
Average conditions (2)	0.06 USD/m ³	0.15 USD/m ³	0.85 USD/m ³
Poor conditions (3)	0.20 USD/m ³	0.50 USD/m ³	2.80 USD/m ³

Tabla 7. Coste de regulación de 1 m³ de agua (USD/m³)

Las condiciones de construcción indicadas en la tabla 7 corresponden a (1) coste de construcción 1 USD/m³, (2) 3 USD/m³ y (3) 10 USD/m³. Este criterio también se ha utilizado para calcular el coste de la capacidad de almacenamiento de 1 m³ para control de avenidas y almacenamiento de energía (tabla 8):

Construction costs	Yearly cost of providing 1 m ³ of water storage
Favorable conditions (1)	0.08 USD/m ³
Average conditions (2)	0.23 USD/m ³
Poor conditions (3)	0.80 USD/m ³

Tabla 8. Coste de capacidad de almacenamiento (USD/m³)

Para hacernos una idea del precio de 1 m³ de agua en el mercado, para riego y usos domésticos e industriales, incluyendo el precio del transporte, se muestran los siguientes datos (tabla 9). Debe tenerse en cuenta la variabilidad del uso de agua en función del tipo de cultivo, principalmente.

	Market value of one m ³	Comment
Irrigation	0.25 USD / m ³	On average: 0.04 USD/m ³ for « low crop value » and 0.80 USD/m ³ for « high crop value ». Few differences between continents.
Domestic and industrial uses	0.70 USD / m ³	

Tabla 9. Precio en el mercado de 1 m³ de agua para riego y usos domésticos o industriales

Una de las ponencias expone una evaluación del valor económico del agua almacenada en embalses en España: 0,55 €/m³. Esta evaluación incluye riegos, usos doméstico e industrial y generación de energía hidráulica. De estos valores se obtiene que la construcción de una presa para uso exclusivo de riegos no está justificado económicamente, si bien es algo necesario.

Para cuantificar el valor económico de la construcción de una presa para protección frente a avenidas, se han propuesto diferentes coeficientes:

- CCR: Ratio de control de captación. volumen de lluvia controlado por el embalse / volumen de lluvia total en la zona a proteger.

- SCR: Ratio de capacidad de almacenamiento. Capacidad de almacenamiento del embalse / volumen de avenida.

- HER: ratio de eficiencia hidráulica. Máximo flujo con presa/ máximo flujo natural.

- EER: ratio de eficiencia económica: pérdidas evitadas/ volumen de capacidad de almacenamiento.

	CCR	SCR	Estimated HER	EER
R22, typhon 18	29%	70% (approx)	24%	200 USD/m ³ (*)
R7 et R8, Amur river	40%	50%	28%	
R7 et R8 ; Selemja project				0.01 USD/m ³ /year (**)
R13, Abugawa dam – Hagi city, 2013 flood	75%	100%	75%	
R13, Abugawa dam – Hagi city, 544 mm rainfall	75%	28%	40%	
R38, Gier, 100-years flood	20%	25%	10%	
SeineGrandsLacs [14]				50 USD/m ³ (***)

Tabla 10. Eficiencia de la regulación de inundaciones con presas

De los ratios indicados se obtiene la siguiente conclusión: el control de avenidas mediante embalses para zonas urbanas densas es viable económicamente, como se demuestra con los casos de Kioto (R22, tifón 18) con un EER de 200 USD/m³ y París (Seine Grand Lacs) con 50 USD/m³.

Finalmente, el debate sobre el cambio climático conduce al coste de producción de carbono. Actualmente, una tonelada de CO₂ está valorada en 8 euros en el mercado europeo, este precio es demasiado bajo para promover la producción de energía libre de carbono.

4.2. Avances presentados en las diferentes ponencias

4.2.1. Presas multipropósito

Algunas ponencias explicaron cómo las presas construidas para producción hidroeléctrica han sido progresivamente utilizadas para otras funciones, ya que la población aguas abajo espera agua en épocas secas y protección en caso de avenidas. También se puso de manifiesto la necesidad de una correcta operación: predicción de avenidas. Las herramientas de simulación y los dispositivos automáticos de control de operación han permitido grandes mejoras.

En países como Kenia e Iraq, se están diseñando embalses multipropósito, teniendo como objetivo principal la generación hidroeléctrica y otros secundarios como el riego, agua potable y gestión de caudales. En todos los casos se genera una complejidad: desarrollo de normas de explotación que optimicen los usos. Los procedimientos de gestión integrada de recursos hídricos proporcionan una solución satisfactoria. Una forma de compaginar todos los usos es considerar un

conjunto de presas a gran escala (embalses en cascada), siendo cada embalse utilizado para un propósito diferente.

4.2.2. Soluciones para almacenamiento de energía. Centrales reversibles

El rápido crecimiento de uso de energías renovables intermitentes (eólica y solar) en Europa a principios de siglo, ofrece un marco favorable para el desarrollo de centrales hidroeléctricas reversibles (CHR). Sin embargo, la interconexión en Europa limita las consecuencias de la intermitencia y el rápido desarrollo de las nuevas plantas de gas (ciclo combinado) en Europa ha llevado a la sobrecapacidad. Además, los países europeos no han establecido mecanismos para evaluar los servicios prestados a la red por este tipo de centrales.

Durante el congreso se dieron varios ejemplos, como el de Italia, donde la única central reversible que ha tenido éxito está localizada en Sicilia, aislada de la red principal. El resto de CHR construidas (7,6 GW en total) han sufrido un declive pasando de las 1.000 horas de funcionamiento en 2002 a 260 horas en 2011. En el caso de Francia, consideran que a partir de un 30 % de capacidad instalada de energías renovables es necesario el almacenamiento de energía. El proyecto de CHR en la isla de Guadalupe (fig. 18) se espera que alcance un factor de planta de 3.300 horas anuales.

Rumanía, actualmente, tiene una potencia instalada con uso de recursos renovables del 15 % sobre la capacidad total, y se espera que se triplique para el 2020, lo que ha motivado el estudio de tres CHR, con un total de 2,3 GW. En la ponencia española de Gas Natural fenosa sobre este tipo de centrales se describen las 3 centrales actualmente en estudio. Por úl-

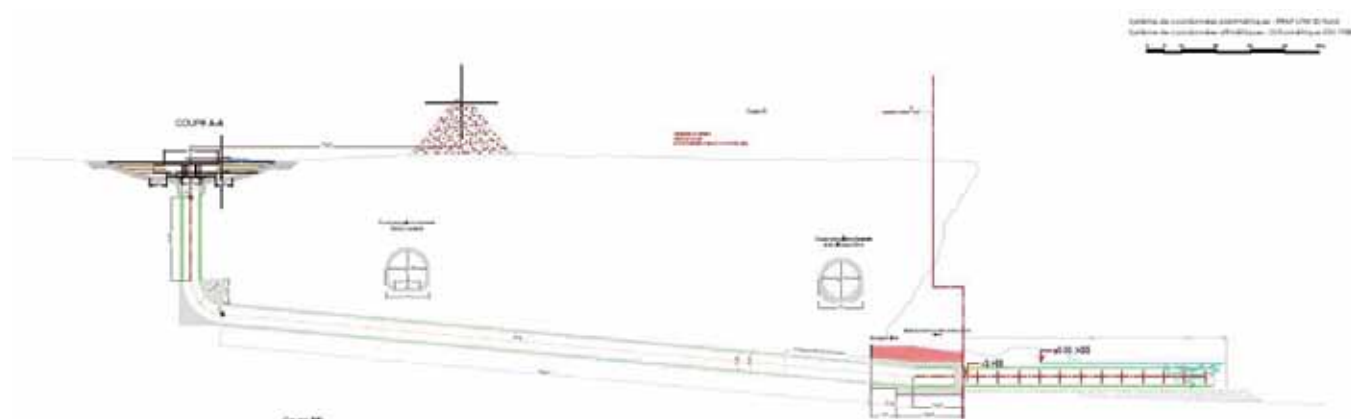


Fig. 18. Esquema hidráulico de la CHR en la isla de Guadalupe

timo, se presentó el caso de la CHR en Rusia de Zalenchuk, con 466 MW de potencia instalada.

La tendencia global es el desarrollo de grandes capacidades de almacenamiento de energía, y el uso de embalses existentes es una opción interesante para este tipo de proyectos.

4.2.3. Protección frente a avenidas

Las ponencias realizadas sobre este tema pusieron de manifiesto los siguientes puntos:

- La importancia de recaudar la máxima información posible de eventos de avenidas pasados. De esta forma, se elaboran normas de explotación más completas y mejores diseños para la construcción de presas.
- La explotación durante avenidas es un tema muy importante que se debe ser previsto.
- Un uso mejor de la capacidad del embalse para protección de avenidas está en conflicto con otros usos existentes. Por este motivo es necesario el uso de herramientas específicas para simular distintos escenarios.

4.2.4. Integrar impactos del cambio climático

El cambio climático tiene un efecto directo sobre el cambio en avenidas y, por lo tanto, en los recursos hídricos y la producción de energía hidroeléctrica. En muchas ponencias se mencionó este hecho, siendo cuantificado. En la ponencia de Noruega y Turquía se mostró un modelo de simulación de los efectos del cambio climático, cambios en temperatura y precipitación, en 2050 y 2090. Francia también utiliza otro modelo de simulación considerando la precipitación y la temperatura aplicada a su región. Según el modelo francés, en 2050 el escenario medio indica que no habrá cambios en la escorrentía durante el invierno, pero sí descensos del 50 % durante el verano y del 25 % en primavera y otoño.

Es esencial integrar el efecto del cambio climático en nuestros proyectos. Nuestra profesión todavía necesita contribuciones científicas para mejorar la calibración de los modelos de la futura evolución de la escorrentía, su variabilidad estacional y anual y su impacto en la evapotranspiración.

4.2.5. Conocer las necesidades ecológicas

No son muchos los proyectos que tienen en cuenta las necesidades ecológicas del emplazamiento. Uno de los ejemplos presentados es lo realizado en Perú, donde con el proyecto

de Río Grande se pretende construir una presa que sirva como barrera para los materiales contaminados procedentes de la minería.

Los beneficios de los embalses en términos de biodiversidad, aparecen incluso sin que el propósito de la presa sea este. Un ejemplo de ellos son los embalses construidos en París para evitar inundaciones y proporcionar un caudal al río Sena durante los veranos. Ocupan un área de 8.000 ha y han creado un entorno de flora y fauna de gran importancia.

4.2.6. Encontrar técnicas adecuadas para pequeñas presas

La técnica de construcción de pequeñas presas fue el tema central de varias ponencias. La principal característica de las contribuciones es la innovación: innovación para disminuir los costes, reducir el impacto y mejorar la seguridad. La optimización del coste de las presas pequeñas comienza con la adaptación a las condiciones locales.

Algunos de los ejemplos expuestos para optimizar los costes son: uso de materiales disponibles en la cerrada, análisis profundo de riesgos en la estructura si no se puede invertir en tratamientos específicos y contratos llave en mano.

La seguridad también es el centro de otras innovaciones. En Japón se realizan estudios sobre el comportamiento de las tierras compactadas, especialmente la pérdida de resistencia durante terremotos en el talud de aguas arriba de la escollera saturada. En Italia y Francia también se están analizando las balsas para producción de nieve artificial, que cada vez exigen mayores tamaños (fig. 19).



Fig. 19. Balsa de Montagnoli para producción de nieve artificial de estación de ski

En algunos casos, la optimización del coste y la seguridad vienen de la mano. En Francia y Bélgica estudian la posibilidad de usar suelos limosos para el diseño de nuevas pequeñas presas. Los ensayos en laboratorio indican que incluir un 2 %-3 % de limos proporciona propiedades interesantes en cuanto a permeabilidad y resistencia.

4.3. Cambios previstos en proyectos hidráulicos

A la vista de las experiencias aportadas en las distintas ponencias se prevén los siguientes cambios a futuro en los proyectos hidráulicos.

4.3.1. Más presas

Mientras crece la demanda de agua para riego y generación de energía hidroeléctrica, muchas regiones experimentan un descenso del recurso hídrico debido al cambio climático. Las consecuencias de estos hechos son: necesidad de construir nuevos embalses y rivalidad entre los diferentes usos de estos con el riesgo de la predominancia de usos comerciales (generación hidroeléctrica y agricultura).

4.3.2. Presas para generación de energía eléctrica

La producción de energía crecerá en los próximos años considerablemente (fig. 20). Este crecimiento debería apoyarse en energías renovables. Por este motivo, es importante que la energía hidroeléctrica juegue su papel y sea más competitiva que las centrales térmicas.

Sin embargo, existen algunas barreras: los proyectos hidroeléctricos necesitan más estudios preliminares, técnica y

medioambientalmente, lo que conlleva mayor tiempo y coste, y la viabilidad de los proyectos depende de la hidrología. La evaluación de costes (análisis coste-beneficio) debería utilizarse para comparar diferentes proyectos o diferentes fuentes de energía.

4.3.3. Almacenamiento de energía

Aunque en este congreso se expuso la posibilidad de almacenar energía mediante centrales hidroeléctricas reversibles, existen tecnologías muy competitivas que ofrecen hoy en día el almacenamiento de energía (centrales eléctricas de gas) e incluso podrían proporcionar almacenamiento reversible (baterías). La interconexión de redes a lo largo de grandes regiones también es una respuesta a la intermitencia de los recursos energéticos renovables.

4.3.4. Embalses multipropósito: normas de explotación

Los proyectos multipropósito necesitan herramientas de gestión: simulación hidráulica para establecer diferentes escenarios y obtener las normas de explotación apropiadas, herramientas de previsión de avenidas y estimación de demanda para operaciones diarias, herramientas de simulación de explotación para formar a los operarios en cómo actuar y sistemas de control automático en tiempo real de las compuertas.

Las herramientas de simulación se pueden utilizar tanto en instalaciones nuevas como en existentes. Más allá de las herramientas de gestión, el propietario o las autoridades son los que tienen la capacidad para regular, que es esencial.

4.3.5. Pequeñas presas: gran necesidad de progreso

Actualmente es necesario que se desarrolle la técnica para optimizar costes, ejecución y seguridad de pequeñas presas. La dirección indicada a seguir para optimizar el coste se basa en partir de los estándares establecidos para grandes presas y aplicarlos en la selección de los materiales, tratamientos del cemento, diseño para resistencia de sismo y dispositivos de evacuación.

Aunque se ahorre un 10 %, 20 % o incluso 50 %, hay otros problemas tras la construcción: funcionamiento (volumen de agua menor al esperado), seguridad (fallos por erosión interna) y durabilidad (algunas se deterioran muy rápido). El Boletín 157 'Presas pequeñas, diseño, vigilancia y rehabilitación' se recogen las particularidades de estas y las recomendaciones para evitar fallos en el funcionamiento, seguridad y durabilidad.

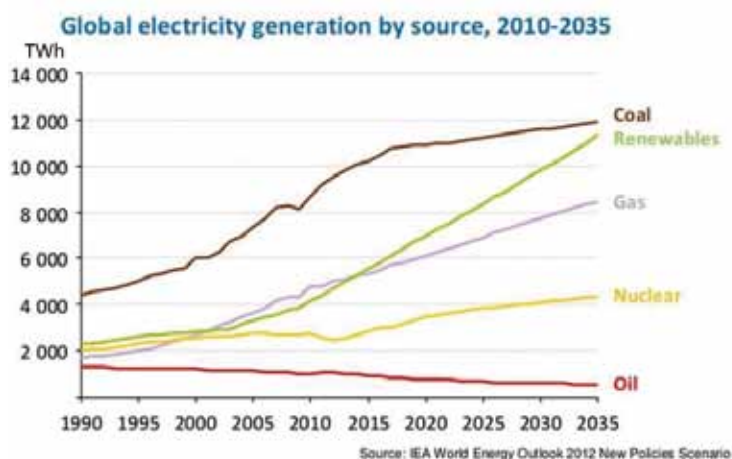


Fig. 20. Previsiones de generación de electricidad clasificada por tecnologías

4.3.6. Presas para protección de avenidas

Las presas dedicadas a protección frente a avenidas necesitan diseños y normas de explotación específicas debido a sus características. Los principales factores que influyen en la eficacia del control de avenidas son: proporción de volumen de agua captada que es controlada y el volumen disponible de almacenamiento.

Las presas para protección de avenidas se pueden clasificar en dos categorías:

- Pasivas: sin compuertas, adecuadas para casos en los que se necesita una reacción rápida.
- Activas: con compuertas, opción preferida en el caso de tener avenidas de duración mayor a un día.

4.3.7. Seguridad de presas

En varias ponencias se mencionaron los métodos de análisis y clasificación de riesgos. Los métodos de análisis de riesgos han cambiado la profesión en Estados Unidos y España. Sin embargo, son necesarias otras herramientas:

- Interpretación científica y técnica de los incidentes y accidentes. Utilizar lecciones aprendidas del pasado en los nuevos proyectos.
- Evaluación de proyectos por terceros cuando estos tengan grandes riesgos para la población.

4.3.8. Cambio climático

Las principales dificultades en este ámbito son tener una base de datos hidrológica suficiente para caracterizar la situación actual y ser capaces de transformar el escenario hidráulico global del IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático) en escenarios regionalizados. Es conveniente analizar la sensibilidad de los diseños a los parámetros que afecta el cambio climático.

4.3.9. Biodiversidad

Los factores fundamentales a tener en cuenta en un proyecto hidráulico son: calidad del agua, régimen del caudal, flujo de sedimentos, peces migratorios, fauna terrestre, inundación de hábitats, lagos, especies invasoras. No podemos actuar sobre todos los factores, pero podemos actuar de alguna forma.

Debemos considerar la biodiversidad como un componente principal de nuestros proyectos. Es muy importante analizar

los proyectos en los que los embalses han tenido una buena respuesta medioambiental tras su construcción para los nuevos diseños. En la redacción del proyecto puede ser muy útil definir y monitorizar indicadores de la calidad del agua y de los ecosistemas acuáticos. Aunque queda mucho por avanzar en este tema, la adaptación de los proyectos puede tener un impacto muy positivo.

4.3.10. Presas que utilizan recursos marítimos

Una ponencia de Francia propone el desarrollo de CHR con aguas marítimas. Consiste en utilizar un embalse en tierra (embalse de aguas arriba) y utilizar como contraembalse (aguas abajo) el mar. Este proyecto francés tendría una capacidad de 50 MW. El coste objetivo de 1.500 €/kW se podría alcanzar en condiciones favorables.

Por otra parte, en la misma ponencia, también se propuso una nueva solución para producir energía hidroeléctrica. Las centrales mareomotrices combinan una laguna artificial y turbinas movilizadas por las mareas. Actualmente los emplazamientos de alto potencial deben tener entre 3 y 5 metros de carrera de marea, como el caso de la central de Rance en Francia (fig. 21). El potencial global de este tipo de energía se estima que podría alcanzar los 1.500 TWh generados al año, lo que representa la mitad de la actual producción hidroeléctrica. Los costes aproximados son de 100 €/MWh, menores que los de otras energías renovables, y tiene la ventaja de que las mareas no son intermitentes.



Fig. 21. Central mareomotriz Rance (Francia)

4.4. Factor humano

Finalmente, hay que destacar algunas ponencias sobre la importancia del factor humano en los proyectos. Para seguir evolucionando en la profesión es necesario formar a gente joven y transmitir los conocimientos actuales para seguir innovando y optimizando los proyectos hidráulicos. También es necesaria la preparación de guías técnicas sobre seguridad de presas, bases de datos de avenidas y el desarrollo de las herramientas de gestión.

5. Conclusiones

El ponente general Luc Deroo realizó una serie de recomendaciones a raíz de los temas tratados en la Q.96 del XXV Congreso de ICOLD:

1. Las evaluaciones económicas de los proyectos hidráulicos deben incluir algún tipo de valoración de los servicios no cuantificables económicamente. Esta valoración es la mejor forma de conseguir un equilibrio entre los usos comerciales, las necesidades de la población y los servicios medioambientales. Además es una forma de ganar ventaja a otras tecnologías como la generación con combustibles fósiles.
2. Las presas cuyo propósito fundamental es la protección frente a inundaciones, requieren un desarrollo específico para maximizar la eficiencia y la seguridad.
3. Los proyectos que emplean agua del mar son prometedores y deben apoyarse.
4. Deberíamos considerar la biodiversidad como el principal componente de nuestros proyectos. De los diferentes enfoques que se dieron, destaca la instalación de dispositivos para controlar la calidad del agua y datos ecológicos en los embalses y ríos aguas abajo, de la misma forma que se controla el comportamiento de las presas.
5. Los proyectos hidráulicos tienen la desventaja de necesitar estudios técnicos y medioambientales preliminares que llevan mucho tiempo. Se podrían promover programas de incentivos y ayudas financieras para estos estudios.
6. Los proyectos de presas pequeñas requieren estudios preliminares más minuciosos para reducir la alta probabilidad de fallo que se ha observado actualmente. Debería fomentarse la financiación de estos, llevando a cabo estudios hidrológicos (avenidas, sedimentos) de amplias regiones.

7. Los nuevos proyectos y la optimización de los embalses existentes requieren datos hidrológicos fiables y abundantes, pero actualmente son escasos. Sería muy beneficioso económicamente financiar la medición de estos datos.

8. Deberían impulsarse los modelos de simulación de gestión de embalses, son de gran ayuda para la gestión de los recursos y establecer diferentes escenarios de avenidas. Estos modelos son muy útiles para la redacción de las Normas de Explotación, imprescindible para embalses multipropósito y presas con compuertas para el control de caudal. **ROP**

Referencias

- [1] ICOLD General Report Q96. Luc Deroo (Francia).
- [2] World Economic Forum «*Insight Report. Global Risks 2014, Ninth Edition*» Geneva, Switzerland., 2014.
- [3] International Energy Agency, «*Energy Technology Perspectives 2014 (ETP 2014)*» 2014.
- [4] Ecoprog, «*The European Market for Pumped Storage Power Plants*» 2011.
- [5] ICOLD, «*Dams for Hydroelectric Energy*».
- [6] E. A. Ingram, «*Worldwide Pumped Storage Activity*» HRW-HYDRO REVIEW WORLDWIDE, 2010.
- [7] FAO, «*Climate change, water and food security - FAO water reports*» Rome, 2011.
- [8] UNESCO, «*Water footprint scenarios for 2050 - Research Report Series No. 59*» 2012.
- [9] IPCC, «*Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A, Chapter 4 : Terrestrial and inland water systems*» 2014.
- [10] J.H.Lawton et R.M.May, «*Extinction rates*» Oxford University Press, Oxford.
- [11] Comité scientifique de Petit-Saut, «*Petit-Saut, l'empreinte environnementale du barrage*» 2014.
- [12] International Energy Agency, «*Projected Costs of Generating Electricity*» 2010.
- [13] WORLD ENERGY COUNCIL - Bloomberg New Energy Finance, «*World Energy Perspective - Cost of Energy Technologies*» 2013.
- [14] *Pumped storage in Spain*. Revista Waterpower. Javier Baztán Moreno (Gas Natural fenosa), Bruno Troulli and M. Bhattacharai (MWH). Junio 2013
- [15] El salto reversible de Belesar III. Hydro 2012 Bilbao. Javier Baztán, Ana Martín (Gas Natural Fenosa).



+ desarrollo sostenible

Más que agua

Talento, conocimiento y compromiso.
Aportamos respuestas adecuadas
para una gestión más eficiente.
Compartimos conocimiento
y generamos innovación.
Trabajamos por un futuro basado
en el compromiso y la cooperación.

www.aqualogy.net



AQUALOGY
Where Water Lives

SOLUCIONES INTEGRADAS
DEL AGUA PARA UN
DESARROLLO SOSTENIBLE

Q.97. Aliviaderos



Alfredo Granados García

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

ETSI Caminos, Canales y Puertos.
UPM



Isabel Granados García

Doctora ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. INPROES

ETSI Caminos, Canales y Puertos.
UPM



Francisco J. Martín Carrasco

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

ETSI Caminos, Canales y Puertos.
UPM

Resumen

El aliviadero es un órgano de desagüe fundamental por su relación directa con la seguridad de la presa. En la cuestión 97 del XXV Congreso de ICOLD se ha tratado específicamente la capacidad de vertido de los aliviaderos en los aspectos que atañen a su seguridad en la evacuación de crecidas del río, tales como la fiabilidad de las compuertas, la incertidumbre existente en la estimación de las avenidas extraordinarias o las actuaciones que pueden acometerse para mejorar la capacidad de vertido. En el presente artículo se describen los artículos presentados a la citada cuestión, en los cuales se muestran las experiencias actuales para aumentar la capacidad del aliviadero, la disyuntiva entre compuertas o labio fijo, las soluciones adoptadas frente a la deficiente fiabilidad en la estimación de las avenidas entrantes al embalse o frente a la dificultad de operación de las compuertas del aliviaderos.

Palabras clave

Aliviaderos, capacidad de vertido, fiabilidad de las compuertas, avenidas, modelización CFD, adaptación de presas

Abstract

The spillway is an essential structure due to its direct relationship with the dam safety. Question 97 of the 25th ICOLD Congress was devoted to spillways. It has been approach from the discharge capacity point of view. The aspects that influence it were analyzed in detail, such as: the spillway configuration, the gates reliability, the uncertainties in flood estimation and the actions which could be done to improve de spillway capacity. This paper describes the reports which were submitted to the question. Those reports show up-to-date experiences and trends: case studies of increasing the spillways capacity, the quandary between gated or un-gated spillways, the measures to enhance the gates reliability, the physical and numerical models for spillways, and the advances for estimating floods and risk of overtopping.

Keywords

Spillways, discharge capacity, gate reliability, floods, CFD modelling, dam adaptation

1. Introducción

La cuestión 97 del XXV Congreso Internacional de Grandes Presas de ICOLD, celebrado en junio de 2015 en Stavanger (Noruega), ha estado dedicada a los aliviaderos. Los temas relacionados con los aliviaderos, y su función como elemento principal de seguridad de la presa, han estado presentes en repetidas ocasiones en los congresos de ICOLD, habiendo sido abordados desde diferentes perspectivas: desde los criterios y bases de diseño, tanto hidrológico como hidráulico, hasta la gestión de los mismos en avenidas. En la relación siguiente se indican las cuestiones y boletines de ICOLD relacionados con los aliviaderos:

- Q.94. Kioto 2012. Gestión de avenidas.

- Q.90. Brasilia 2009. Mejora de presas existentes.

- Q.79. Pekín 2000. Aliviaderos y seguridad de presas.

- Q.71. Durban 1994. Envejecimiento de aliviaderos y desagües.

- Q.63. San Francisco 1988. Avenida de proyecto y estrategia de laminación.

- Q.50. Nueva Delhi 1979. Aliviaderos y desagües de gran capacidad.

- Q.41. Madrid 1973. Control de avenidas y disipación de energía durante la construcción y la explotación de las presas.

- Q.12. Nueva Delhi 1951. Métodos de determinación de la máxima avenida. Selección y dimensionamiento de aliviaderos y desagües.

- Boletín 156. 2012. Gestión integrada del riesgo de avenidas.
- Boletín 142. 2011. Seguridad en la laminación de la avenida extrema.
- Boletín 125. 2003. Presas y avenidas. Recomendaciones y casos de estudio.
- Boletín 108. 1997. Coste del control de avenidas en presas. Revisión de la literatura y recomendaciones.
- Boletín 82. 1992. Avenida de proyecto. Estado del arte.
- Boletín 81. 1992. Problemas de aireación y ondas cruzadas en aliviaderos.
- Boletín 58. 1987. Aliviaderos de presas.
- Boletín 49a. 1986. Explotación del sistema hidráulico de las presas.

En este congreso la cuestión sobre aliviaderos se ha enfocado desde un punto de vista funcional, centrándose en

la capacidad para desaguar las crecidas en condiciones adecuadas de seguridad. Para ello las presentaciones y discusiones efectuadas se agruparon en los cuatro subtemas siguientes:

- Aumento de la capacidad de vertido.
- Fiabilidad de las compuertas.
- Aliviaderos de labio fijo o regulados con compuertas.
- Incertidumbre en la estimación de las avenidas.

2. Desarrollo de las sesiones y relación de informes presentados

La cuestión 97 se desarrolló durante los días 17 y 18 de junio, en cuatro sesiones dedicadas a cada uno de los subtemas señalados y otra de apertura en la se expuso el informe general. La mesa presidencial estuvo compuesta por: A. J. Schleiss (Suiza) que ejerció de presidente, M. Abebe (Etiopía) de vicepresidente, C.R. Donnelly (Canadá) de relator general y H.M. Kjellesvig (Noruega) de secretaria.

Informe	Autores	Título
R1	Luiz Gouveia Gambetti D., Caproni Junior N., Morello Alves A., y Ferreira Malaman J.	<i>'Protection against impacts and accumulation of logs in the structures of Santo Antônio hydroelectric power plant, taking account the transposition downstream river'</i>
R2*	Barker M. y Lonie I.	<i>'Use of risk analysis for flood upgrade design and construction risk'</i>
R3	El Ghomari K., Marzouki Zerouali T. y Zakaria A.	<i>'Conception et dimensionnement de l'évacuateur de crue du barrage Dar Khrofa'</i>
R4*	Ionescu S.	<i>'Evaluating and improving the safety of gated spillways'</i>
R5	Zakaria A., Hilal Zoubeidi M. y Bouchama S.	<i>'Conception et étude sur modèle hydraulique de l'évacuateur de crue en marches d'escalier du barrage Tamalout'</i>
R6	Guryev A., Mezentseva N. y Shakirov R.	<i>'Design of spillway structure for hydropower projects located in severe climatic conditions'</i>
R7	Mazhbits G.L. y Bod K.Yu.	<i>'Analysis of results of determination of spillway structures gates state and residual life evaluation'</i>
R8	Bellendir E.N. y Shtilman V.B.	<i>'Infringement of working capacity culvert constructions caused by gates failures'</i>
R9*	Assarin A., Guryev A.P., Zhirkevich A.N. y Shakirov R.	<i>'Peculiarities of application of PMF determination; methodology for selection of types and parameters of spillway structures in designing and construction of dam projects in different climatic zones'</i>

R10	Kashiwai J., Kubozono T. y Takada T.	<i>'Ohno dam's operation results for reducing inundation damage in excess inflow situation'</i>
R11	Satrapa L., Brouček M., Kralík M. y Zúkal M.	<i>'Gated spillways – Numerical and physical modelling'</i>
R12*	Halvarsson A., Järve D. y Kuoljok U.	<i>'New spillway and spillway gate at Edensforsen hydropower plant'</i>
R13	Wu Y., Sund M., Magnusson F., Zhang J. y Yang J.	<i>'Numerical and experimental investigations of closure of an emergency bulkhead gate'</i>
R14	Åstrand S., Persson F. y Engström Meyer A.	<i>'Floating debris at extreme flood events in Swedish rivers – development of methodology for analyzing potential risks'</i>
R15*	Hallberg K., Andréasson J. y Sjökvist E.	<i>'Design flood assessment in a changing climate – adaptation based on new emission scenarios'</i>
R16*	Lia L., Ruud A.M. y Belete K.	<i>'Design and implementation of gated and ungated spillway at the Dabbsjö dam in Sweden'</i>
R17	Hope I.M., Chesterton O.J., Kirby A.M. y Claydon J.R.	<i>'Performance evaluation of the Tittesworth Reservoir spillway following the discovery of a 50 year old discrepancy'</i>
R18	Kjellesvig H.M., Guddal R. y Vingerhagen S.	<i>'Secondary and emergency spillway at Deg dam'</i>
R19	Kiel A.S., Marchand W-D. y Midttømme G.H.	<i>'Increasing capacity of spillways with shaft/tunnel outlets – case study, dam Øvre Kalvatn'</i>
R20*	Hiller P.H. y Lia L.	<i>'Placed riprap as erosion protection on the downstream slope of rockfill dams exposed to overtopping'</i>
R21*	Pfister M. y Schleiss A.J.	<i>'Discharge capacity of PK-weirs considering floating wooden debris'</i>
R22*	Joos B.	<i>'Flood integration method'</i>
R23*	Boes R.M., Lutz N. y Lais A.	<i>'Upgrading spillway capacity at large, non-overtoppable embankment dams'</i>
R24	Zeimet F., Receanu R., Schleiss A.J. y García Hernández J.	<i>'Extreme flood assessment in Swiss Alpine environment'</i>
R25	Fakhrmoosavi S.F., Noorzad A. y Ghaemian M.	<i>'Proposing standard of societal risk criteria for dams in Iran'</i>
R26	Kučera R. y Steščík J.	<i>'Enhancing the safety of dams of the state enterprise Povodí Vltavy according to current standards'</i>
R27*	Hattingh L.C., Oosthuizen C. y Mostert A.	<i>'Incidents at gated spillways in Southern Africa'</i>
R28	Hattingh L.C. y Mostert A.	<i>'The impact of hydrological record lengths on spillway and dam design – the Namibian experience'</i>
R29	Dias da Silva J., Sousa Oliveira M. y Ramos Fernandes I.	<i>'Hydraulic-operational safety analysis of EDP existing dams. The complementary spillways of Paradela, Salomonde and Caniçada dams'</i>
R30*	Berga L. y Berga L. Jr,	<i>'Floods, hydrological safety of dams and climate change'</i>
R31	Gómez de Membrillera Ortuño M. y Espert Canet V.	<i>'Use of risk-informed decision making to analyze and assess the hydrologic safety of Spanish dams'</i>

R32	Baena Berrendero C.M., Duque Carrero A. y Granell Ninot C.	<i>'Spillways design by numerical modelling'</i>
R33	Marín J., Ibáñez de Aldecoa R., Vazinkhoo S. y Mallet M.	<i>'Refurbishment of the upper dam's spillway at Ruskin generating station, keeping the facility in operation: A challenging task'</i>
R34	Aosaka Y., Hanamoto M. y Asakawa M.	<i>'Hydraulic model test of "ski jump spillway with multi flip buckets" applied to the Nam Ngiep 1 hydropower project'</i>
R35*	Kasahara S., Kiyonaga Y., Harada Y., Shimomura A. y Ishikawa N.	<i>'Development of emergency power unit for gates'</i>
R36*	Chevalier S. y Rabias E.	<i>'Innovative solution for water storage optimization'</i>
R37*	Scarella M. y Pagliara S.	<i>'A challenging solution for Zarema May Day dam: Spillway design and model tests'</i>
R38*	Micovic Z., Hartford D.N.D., Schaefer M.G. y Barker B.	<i>'Flood hazard for dam safety – where the focus should be?'</i>
R39*	Reverchon B., Claveirole P., Bouquier P-G. y Barthomeuf H.	<i>'Conception, exploitation et rénovation des évacuateurs de crue vannés des barrages exploités par Electricité de France'</i>
R40*	Bail A., Carlier T., Lapeyre O. y Tardieu A.	<i>'Augmentation de la capacité d'évacuation des crues de plusieurs barrages moyens – choix des équipements'</i>
R41	Guilloteau T., Vermeulen J. y Bryla P.	<i>'Evaluation de la sécurité et de la maîtrise de l'évacuation des crues sur les barrages exploités par EDF'</i>
R42*	Loisel P-E., Schaguene J., Bertrand O. y Guilbaud C.	<i>'Etude comparative des modélisations numérique et physique de différents ouvrages d'évacuation des crues'</i>
R43	Arnaud P., Paquet E., Aubert Y., Royet P., Fine J-A. y Lang M.	<i>'Estimation de la distribution de cotes de retenue par simulation stochastique pluie-débit. Cas d'un ouvrage fictif'</i>
R44	Bisso D., Cervetti J.L., Dayraut M., Mouy V., Lino M., Deroo L., Chevalier S., Lemperiere F. y Vigny J.P.	<i>'Examples of association of gated spillways with ungated spillways or fuse devices'</i>
R45*	Laugier F. y Vermeulen J.	<i>'Retour d'expérience sur la conception et la construction d'évacuateurs de crue labyrinthe de type PKW sur un grand parc d'ouvrages: cas spécifiques et poursuite des actions'</i>

* Informes seleccionados para su presentación en las sesiones del congreso

Tabla 1. Relación de informes Q.97

Informes presentados	País
7	Francia
4	España, Noruega, Rusia, Suecia y Suiza
3	Japón
2	Marruecos, República Checa y Sudáfrica
1	Australia, Brasil, Canadá, Grecia, Irán, Italia, Portugal, Reino Unido y Rumanía

Tabla 2. Número de informes presentados por países

Se recibieron un total de 45 informes (ICOLD, 2015) provenientes de 19 países, de los que se seleccionaron 20 para su presentación oral en las sesiones (tablas 1 y 2).

El informe general (Donnelly, 2015) lo preparó Richard Donnelly, consultor principal de la División de Energía de Hatch (Canadá).

3. Aumento de la capacidad de vertido

La seguridad de las presas es un tema en constante desarrollo. La rotura de una de estas estructuras puede provocar una onda de inundación mucho mayor que las producidas de manera natural en la cuenca, y afectar gravemente a poblaciones situadas junto al cauce. Los accidentes graves pueden ocasionar también daños importantes a la sociedad, y previsiblemente la puesta fuera de servicio temporalmente o definitivamente de la presa, con las consecuencias que de ello derivan. La sociedad demanda incrementar los niveles de seguridad de estas estructuras. Por otra parte, los aliviaderos son uno de los elementos de seguridad principales de las presas. Por ellos se vierten los caudales excedentes de manera controlada y se restituyen al cauce de forma que no se produzcan daños. El mal funcionamiento de estas estructuras, o su incapacidad para evacuar las avenidas, da lugar a sobreelevaciones del nivel de embalse superiores a las previstas, que en algunos casos pueden llegar a provocar el desbordamiento incontrolado por coronación.

El desbordamiento es una de las causas principales de rotura de las presas, especialmente de las de materiales sueltos, mucho más vulnerables. Atendiendo a los resultados de diferentes estadísticas de fallo, en torno a un tercio de las roturas registradas responden a dicha causa. Casi el 90 % de las mismas se ha producido en estructuras de materiales sueltos. Los temas relacionados con el incremento de las solicitudes hidrológicas y la adaptación de aliviaderos fueron también tratados en el anterior congreso de ICOLD (Kioto 2012) en la cuestión 94 (Esteban & Granados, 2012).

El incremento de la exigencia y la necesidad de aumentar la capacidad de evacuación puede ser debido a distintas razones: mayor exigencia en las legislaciones nacionales, actualización del estudio hidrológico o problemas de funcionamiento del aliviadero. Se trata de una problemática que se produce a nivel mundial, con independencia del área geográfica en el que se ubique la presa, si bien es en

los países con infraestructura hidráulica más desarrollada y madura en los cuales se está trabajando en esta línea de forma más intensa. En los informes presentados se observa que la deficiencia de capacidad de vertido es muy variable, dependiendo de la normativa inicial de proyecto, del dimensionamiento efectuado y de la evolución de las series de precipitaciones.

En función de las necesidades hidrológicas existentes y de las condiciones particulares de cada presa el problema se puede afrontar mejorando el resguardo de la presa, incrementando la capacidad del aliviadero, rebajando el nivel máximo de explotación por debajo del nivel máximo normal, o mediante una combinación de varias de las anteriores medidas. Para la selección entre las distintas alternativas se estudian las condiciones técnicas, la funcionalidad, el coste y el impacto ambiental, y en muchos casos se emplean modelos de análisis de riesgo que permiten introducir criterios que tengan en cuenta dichos factores como herramienta de apoyo a la decisión.

Rebajar el nivel máximo de explotación es una medida no estructural, que no requiere inversión y que se puede implementar de manera inmediata. Sin embargo, esta medida tiene costes de explotación: la pérdida de capacidad útil se traduce en una disminución de la disponibilidad de agua que se puede servir con una garantía dada, y, en los embalses de uso hidroeléctrico, se produce adicionalmente una disminución del salto bruto (R18, R29).

La adecuación del resguardo, mediante el recrecimiento de la presa, es una alternativa muy efectiva cuando el ajuste necesario es relativamente pequeño (por ejemplo cuando el resguardo existente es capaz de absorber la avenida, pero no el oleaje que puede desarrollarse en el embalse) (R17, R26). En ese caso, la intervención se restringe a la parte alta de la presa, no siendo necesario adaptar tomas ni desagües de fondo.

Otra actuación sobre el cuerpo de presa, es protegerlo para que sea capaz de soportar sobrevvertidos sin que se produzcan daños, o que estos no lleguen a ser catastróficos (Toledo et al., 2015). Esta línea de trabajo es particularmente activa en las presas de materiales sueltos, que son significativamente más vulnerables al desbordamiento. En el R20 se muestran los estudios llevados a cabo por la NTU (Trondheim, Noruega) sobre las protecciones con *rip-rap* de los taludes de aguas abajo de las presas. Las investi-

gaciones realizadas se apoyan sobre un modelo en campo, una pequeña presa de unos 8 m de altura. Los resultados indican que la colocación de las piedras en una determinada dirección aumenta la resistencia proporcionada frente al sobrevertido. Los resultados son interesantes, si bien su aplicación puede quedar limitada por el coste de la instalación ya que exige una supervisión cuidadosa y en algunos casos intervención manual, piedra a piedra, de la totalidad del paramento.

La mayor parte de los informes presentados se centran en el incremento de capacidad de los aliviaderos mediante distintas técnicas. Muchos informes corresponden a casos de estudio, en los cuales se han adoptado diferentes medidas de adaptación. Las principales son: ampliación de la estructura existente, construcción de aliviaderos complementarios, uso de aliviaderos laberinto o en tecla de piano; o colocación de compuertas o diques fusibles.

Aliviaderos en laberinto o en tecla de piano

Los vertederos en laberinto y en tecla de piano (o PKW por sus siglas en inglés), están concebidos para poder desaguar caudales mayores sobre una directriz de longitud determinada. Para ello el labio del vertedero se pliega en zig-zag, con lo que aumenta su longitud efectiva y por tanto su capacidad. El uso de este tipo de aliviaderos se ha extendido en las dos últimas décadas impulsado por los trabajos de adecuación de aliviaderos existentes. Proyectos en los cuales el espacio disponible para encajar un aliviadero de mayor capacidad suele estar fuertemente condicionado.

Los vertederos en tecla de piano son una variante de los aliviaderos en laberinto, con una disposición más compacta, generalmente de caras paralelas, que está concebida para su instalación en la coronación de la presas de fábrica. En Francia, EDF ha instalado este tipo de aliviaderos en nueve presas (fig. 1). La instalación ha obedecido fundamentalmente a dos causas relacionadas con la seguridad hidrológica: por insuficiencia de capacidad de los aliviaderos existentes o para eliminar aliviaderos regulados con compuertas. En el R45 se resumen las características principales de estas realizaciones. En los diseños realizados la longitud desarrollada del vertedero se mueve entre 4 y 8 veces la de la directriz, y el caudal específico (referido a la longitud de la directriz) para un calado de 1 m varía entre 6 y 10 m³/s/m, que en comparación a un aliviadero con vertedero convencional supone un incremento de capacidad de entre 3 y 5 veces.



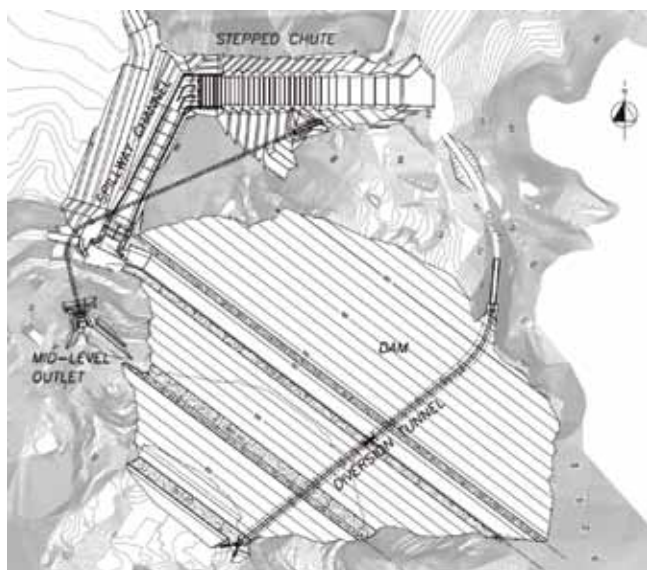
Fig. 1. Vertedero en tecla de piano de la presa de Gloriettes (Francia) (R45)

Al tratarse de una tipología relativamente nueva, se están realizando diversos estudios para mejorar su caracterización hidráulica (aireación, disipación de energía y funcionamiento anegado), estructural (comportamiento frente a cargas hidrodinámicas y sísmicas), y el estudio de nuevas geometrías (trapezoidal o fractal).

En la EPFL (Lausana, Suiza) se está analizando el comportamiento de este tipo de aliviaderos frente al vertido de flotantes, especialmente de troncos y ramas de árboles. En el R21 se resumen los resultados de las investigaciones realizadas, en las cuales se ha comprobado que la geometría de este tipo de vertederos puede resultar favorable de cara al taponamiento, ya que aunque los flotantes taponen superficialmente la entrada, el agua puede contornear esta barrera por debajo manteniéndose operativo el aliviadero. Evidentemente ello requiere energía, lo que provoca una sobreelevación adicional del nivel de embalse, que debe ser considerada su caso.

Uso de elementos fusibles

Otra estrategia para incrementar la capacidad de vertido en avenidas es mediante el uso de elementos fusibles: bien sean diques o compuertas (R36, R44). Los diques fusibles son estructuras de tierra diseñadas para ser erosionadas en caso de sobrevertido, la brecha que se produce en las mismas permite aumentar el caudal evacuado. Las



**Fig. 2. Aliviadero escalonado de la presa
Zarema May Day (Etiopía) (R37)**

compuertas fusibles se basan en el mismo concepto, son elementos prefabricados de hormigón u acero, que tienen una cámara en su base. Cuando se eleva el nivel de embalse por encima de un umbral determinado, la cámara inferior se llena de agua y la subpresión que desarrolla desequilibra el bloque que cae.

El uso de elementos fusibles permite disponer de una capacidad adicional de vertido en situaciones de emergencia. El uso de diques fusibles solo es habitual en presas de gran magnitud, ya que su instalación requiere una gran cantidad de espacio. Pero pueden ser una alternativa competitiva en caso de que se comparen con la instalación de compuertas convencionales. En el análisis de estos dispositivos de debe tener en cuenta el posible coste que implica su reposición.

Empleo de aliviaderos escalonados en presas de materiales sueltos

Se han presentado dos informes en los cuales se han diseñado rápidas escalonadas en combinación con presas de materiales sueltos. El uso moderno de los aliviaderos escalonados ha estado asociado a la técnica del hormigón compactado. Los paramentos escalonados eran en principio una consecuencia de dicha técnica. Los trabajos de caracterización hidráulica de estas estructuras han revelado una característica fundamental de los mismos,

la alta disipación de energía que se produce en la rápida (R5). Ello está abriendo un campo nuevo de aplicación de estos aliviaderos en presas, en los cuales el escalonado no es una consecuencia de la técnica constructiva sino que se diseña expresamente con el objeto de disipar la energía previamente a su restitución.

Los informes R23 y R37 son dos ejemplos de ello. El primero corresponde a la ampliación del aliviadero de la presa Trängslet en Suecia, y el segundo a la presa Zarema May Day en Etiopía (fig. 2). El comportamiento de ambas estructuras ha sido analizado en modelo reducido, en el primer caso la geometría se ajustó en base a la del canal de descarga del aliviadero preexistente, el régimen para el caudal de diseño es rasante y la pérdida de energía al pie se encuentra entre el 70 % y el 80 %. En el segundo caso la altura del escalonado se ajustó para que el flujo fuera escalón a escalón, para todo el rango de caudales de diseño, de manera que al pie de presa la energía quedara prácticamente disipada en su totalidad.

Modelización física y numérica de aliviaderos

Hasta hace unos años la modelización física era la única herramienta con la que se contaba para comprobar el comportamiento, verificar el funcionamiento y refinar el diseño de las estructuras hidráulicas. En la actualidad, se cuenta también con modelos numéricos que permiten la resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes que gobiernan el flujo. Estas técnicas, que se agrupan bajo la denominación de *Computational Fluid Dynamics* (CFD), han experimentado un avance muy importante en los últimos años. El abaratamiento y el incremento de la capacidad de cálculo de los equipos informáticos, conjuntamente con el desarrollo de las técnicas numéricas y la mejora de las interfaces de trabajo, han convertido en pocos años a los modelos CFD en una herramienta muy útil de cara al diseño de los aliviaderos y otras estructuras hidráulicas. Así se pone de manifiesto en el análisis de los informes presentados al congreso.

Los modelos numéricos proporcionan la capacidad de tratar problemas complejos y pueden ser utilizados para ensayo numérico de diferentes variantes (R32). La ventaja de esta herramienta es que permiten tantear distintas configuraciones e introducir cambios en el diseño de manera rápida y económica, por lo que se pueden aplicar en fase de proyecto para la selección de alternativas y la optimización del diseño. Los modelos CFD son además muy visuales y los resultados se presentan en imágenes

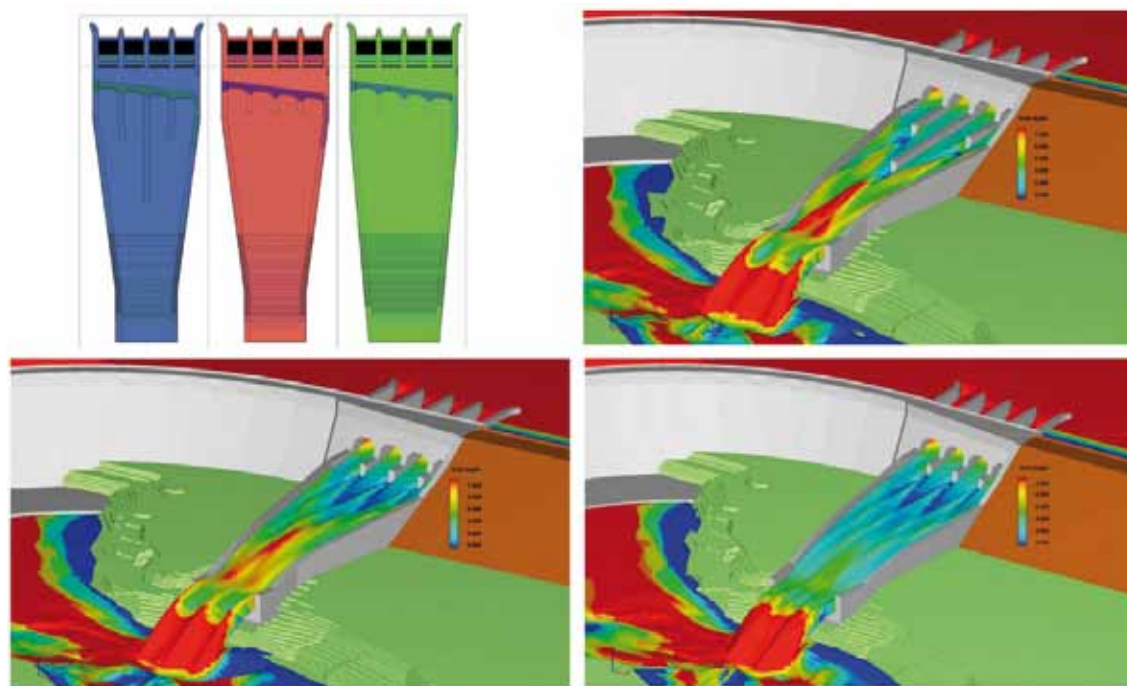


Fig. 3. Análisis de la convergencia de los cajeros del aliviadero de la presa de Barroblanco (Panamá) (R32)

que dan idea del comportamiento hidráulico del aliviadero (fig. 3). Los procesos y variables hidráulicas principales (caudales, velocidades y presiones) se determinan de forma adecuada, si bien algunos casos como el análisis de flujos bifásicos aire-agua están todavía en fase de desarrollo y mejora. En el R32 se da una idea de la amplitud de elementos y casos que pueden ser analizados mediante estas técnicas: diseño de cubetas en aliviaderos de entrada lateral, trampolines de lanzamiento, aliviaderos con cajeros convergentes, vertederos en laberinto, cuencos amortiguadores y trampolines sumergidos, entre otros.

Los modelos físicos continúan siendo de gran utilidad. En ellos se puede observar de manera directa y tangible el comportamiento de la estructura. La práctica totalidad de los aliviaderos se ensaya en modelo reducido cuando se alcanza la fase de construcción para corroborar el funcionamiento previsto en diseño e introducir reajustes que lo mejoren. La modelización física también ha experimentado un desarrollo importante en los últimos años con la introducción de nuevos y más precisos sensores, de manera que la información que se puede extraer de los mismos es mayor y también más precisa. La tendencia es al empleo conjunto de ambas técnicas en la denominada modelización híbrida o compuesta (R11, R13).

En el informe R42 se comparan los resultados de las dos metodologías. Se presentan dos casos: un aliviadero con lanzamiento dispuesto sobre una presa de bóveda y un aliviadero escalonado y su cuenco de restitución. Los resultados de ambos modelos son en general muy similares. Las diferencias principales aparecen en el caso del aliviadero escalonado, en el tratamiento de caudales específicos elevados y flujos fuertemente aireados. Entre las recomendaciones sobre el uso de modelos CFD, se señala la conveniencia de efectuar un estudio de sensibilidad de los diferentes parámetros que intervienen en el modelo numérico. Lo ideal sería disponer de datos que facilitasen la calibración del modelo. Esto no es posible en fase de diseño, en la cual se recomienda el empleo de los valores resultantes del cálculo hidráulico y el ajuste del modelo por iteraciones. En trabajos relacionados con la intervención en aliviaderos existentes se puede disponer de alguna información para el calibrado del modelo (R17) y también cuando se trabaja conjuntamente con un modelo reducido.

En el R34 se analizan los resultados de un modelo físico para el análisis de la socavación producida por un trampolín de lanzamiento. Se trata de un modelo de lecho móvil preparado con objeto de reproducir la dinámica de arrastre y deposición

de sedimentos aguas abajo. La solución planteada en el diseño para minimizar sendos procesos consiste en partir el flujo en tres partes con lanzamiento a dos alturas diferentes (los dos canales laterales a una y el central a otra) para repartir la zona de impacto y limitar la erosión.

Otro caso práctico de aplicación en el cual se ha realizado un modelo reducido es el de la presa Dar Khrofa en Marruecos (R3). Se trata de una presa de materiales sueltos con núcleo impermeable y aliviadero de labio fijo. El aliviadero tiene una embocadura frontal en abanico y un abocinamiento en el que se reduce paulatinamente el ancho de la sección hasta enlazar con el canal de descarga. En el ensayo se planteó un problema de formación de ondas cruzadas y desbordamiento de los cajeros en la entrada del canal de descarga. La solución dada consiste en la introducción de un umbral de vertido situado al término del abocinamiento, controlando la incorporación de caudales al del canal de descarga. Esta solución es muy habitual en las cubetas de los aliviaderos con entrada lateral, pero no es común en los de embocadura frontal.

4. Fiabilidad de las compuertas

Los aliviaderos con compuertas permiten mejorar la regulación de los recursos con una inversión más baja. A su vez el disponer de compuertas puede dotar al explotador de cierta flexibilidad para el control de las avenidas. Como contrapartida, el mantenimiento y conservación de estos equipos lleva acarreado un coste periódico, y la gestión de las mismas en situaciones de avenida obliga a disponer de personal y requiere el establecimiento de métodos que optimicen la laminación y el aprovechamiento de los recursos (Girón, 1988).

El fallo en la maniobra de las compuertas obliga a que el agua sea evacuada sobre las mismas. En este caso y dependiendo de la magnitud de la avenida y del resguardo disponible podría producirse el desbordamiento de la presa. La rotura de la presa de Tous (España), fue debida a un cúmulo de circunstancias adversas, entre las cuales se encontraba la imposibilidad de apertura de las compuertas del aliviadero. En este sub-tema se recogen los informes presentados que versan sobre la fiabilidad de las compuertas.

Causas de fallo de las compuertas

Las razones principales de fallo de las compuertas se pueden agrupar en tres grupos: causados por agentes externos, humanos, y mecánicos o estructurales.

Entre los factores externos los dos principales son el fallo eléctrico y el taponamiento por flotantes.

Algunos de los informes presentados tratan sobre la obstrucción de las compuertas por flotantes. Es un problema que se produce en regiones densamente pobladas por vegetación y también en otras más áridas en las cuales las lluvias se producen de forma torrencial y barren cuanto encuentran en su camino. La gestión de los arrastres en situaciones de avenidas es un tema sobre el que no existe una estrategia definida, si bien los informes presentados coinciden en que se trata de un riesgo que se debe considerar.

En el R14 se presenta una metodología para evaluar la cantidad de arrastres que se pueden producir, en base a los factores geomorfológicos y de cobertura vegetal y a los factores climáticos viento y lluvias torrenciales que pueden concurrir. De su aplicación, se observa que, en general, en Suecia los arrastres que pueden conllevar un riesgo alto de obstrucción del aliviadero están asociados a avenidas de bajo periodo de retorno y que en condiciones normales plantean un riesgo bajo. Los flotantes entrantes al embalse se debe de tener en cuenta para que el aliviadero sea capaz de desaguarlos en situación de avenida. Un ejemplo de ello, es el nuevo aliviadero de la presa Trängslet en Suecia (R23), para el que se ha diseñado un vano destinado al vertido de los flotantes. Dicho vano complementa a una cubeta de vertido lateral y a dos vanos preexistentes regulados con compuertas Taintor. La embocadura está esviada y equipada con una compuerta de clapeta para facilitar la salida de los flotantes.

Otro caso es el de los cauces situados en zonas tropicales, que pueden transportar troncos y otro tipo de flotantes durante todo el año. Esta circunstancia debe considerarse en el diseño, siendo conveniente establecer una ruta de evacuación permanente de los mismos. Un ejemplo de ello es la presa de Santo Antônio (Brasil) (R1) en cuyo diseño se realizó un conteo de los troncos y flotantes transportados por el río en las distintas estaciones. El aliviadero está regulado por compuertas. Como medida de protección de las mismas se han dispuesto en el embalse barredas flotantes, que dirigen los troncos hacia un vano del aliviadero diseñado específicamente para su evacuación.

Otros factores externos, más singulares, que pueden provocar la inutilización de las compuertas, son los que se

producen en las regiones de clima extremadamente frío (R6). La existencia de muy bajas temperaturas de forma muy prolongada puede afectar a las compuertas por la formación de hielo que impida su accionamiento o por la obstrucción de la embocadura por acumulación de bloques de hielo. Las medidas habituales para asegurar el funcionamiento en estos casos consisten en calefactar los equipos e instalar barreras para retener los bloques de hielo en el embalse. En climas más extremos todavía se propone embutir el aliviadero en el cuerpo de presa y que la toma sea en carga o mediante un sifón.

Los fallos en la alimentación de energía eléctrica se muestran como otra de las causas principales de fallos por factores externos. En estos casos es importante el que existan fuentes de alimentación de energía eléctrica redundantes, independientes y que puedan ser operadas desde zonas sin riesgo de inundación (R8, R27). Una fuente de seguridad adicional, compacta, son los grupos electrógenos portátiles. Algunos modelos se diseñan específicamente para esta labor y están preparados para su utilización directa una vez conectados (R35). El caso de empleo de cualquier dispositivo alternativo a la fuente de alimentación convencional requiere de adiestramiento del personal encargado. De no disponer de entrenamiento, es probable que la fuente alternativa no pueda ser utilizada en situaciones de emergencia.

El entrenamiento del personal se tiene que extender a todos los equipos electro-mecánicos. La baja capacitación de los operarios es una de las causas por las cuales puede no abrirse una compuerta; pero, lo que es peor, puede también ser causa de negligencias que empeoren las condiciones de vertido (R8). De ahí que los informes incidan en la necesidad de la preparación técnica del personal. Además de la preparación, es necesario también contar con los medios en sí. Es decir, se considera fundamental disponer de personal a pie de presa, o con acceso a la misma en un plazo corto de tiempo, de cara a la ejecución de las maniobras de las compuertas (R27).

Otro grupo importante de fallos son los relacionados con el propio equipamiento. Este grupo de fallos puede derivar de un diseño defectuoso (por ejemplo: equipos situados en zonas inundables o equipos de accionamiento que no cuentan con capacidad suficiente para elevar la compuerta en situación de avenida), de defectos en los materiales o en la ejecución (como por ejemplo, en los cordones de

soldadura, o en las pletinas y perfiles de refuerzo), o de una falta de mantenimiento (R8).

En el informe R41 se resumen las principales causas de fallo en la operación de los equipos, que se han registrado en los últimos años en las presas operadas por EDF. Los datos presentados han sido extraídos de una base de datos que la citada empresa viene recopilando desde el año 2008, cuando empezó a realizar informes periódicos de seguridad y preparó un protocolo normalizado para la revisión de los equipos hidromecánicos (R39). Los fallos de accionamiento principales son debidos a problemas en los dispositivos de control, la transmisión de las compuertas accionadas por cadenas, el circuito hidráulico de las compuertas accionadas mediante émbolos, el acodamiento y el motor.

Existen modelos de compuerta, no convencionales, que disponen de dos mecanismos de accionamiento diferentes, alimentados por fuentes de energía independientes. Este tipo de compuertas ha sido empleado en Suecia en presas en las que la operatividad era crucial (R12).

Las bases de datos pueden ser gran utilidad para los gestores de grupos de presas. Aparte de mantener un control sobre el historial de funcionamiento de estos equipos puede realizar distintas estadísticas que le ayuden a planificar los trabajos de mantenimiento y las compras de repuestos. Independientemente de esto, los análisis de seguridad particularizados son de gran importancia, ya que las compuertas no son elementos normalizados y todas trabajan en condiciones diferentes, por lo que su evolución al paso del tiempo puede variar de forma significativa (R7).

Análisis de riesgos

Las técnicas de análisis de riesgos son una herramienta muy útil de cara a la evaluación de la efectividad de posibles actuaciones y priorizar inversiones en una presa o en un conjunto de presas (SPANCOLD, 2012). Evidentemente para que una comparación sea representativa debe de estar basada en un criterio homogéneo. Por ello diferentes titulares u organismos relacionados con las presas han desarrollado o están desarrollando metodologías de análisis de riesgos que facilitan que dicho proceso se realice de forma normalizada (R25).

La aplicación del análisis de riesgos tiene algunas ventajas derivadas de los estudios que hay que llevar a cabo para

establecer la probabilidad de fallo y las consecuencias que dicho fallo puede tener.

El establecimiento de árboles de fallo para la determinación de la probabilidad de fallo, puede permitir al explotador conocer mejor algunos aspectos concretos de los equipos y procesos físicos relacionados con la seguridad de la presa. Un buen ejemplo de ello se incluye en el R8, en el que se explica la preparación de un árbol de fallo de las compuertas (deducción de las causas que pueden dar lugar a dicho fallo). Este árbol, cuyo uso principal era estimar la probabilidad de fallo de las compuertas, ha servido al explotador para profundizar en la causa y magnitud de las debilidades y para replantear los protocolos de mantenimiento que tenía establecidos.

El informe R4 está centrado en cuantificar la probabilidad de sobrevertido de un aliviadero regulado por compuertas. Conforme a los resultados obtenidos, la probabilidad de desbordamiento en presas reguladas con compuertas con un mantenimiento normal es hasta 5 veces superior a la de presas con aliviaderos de labio fijo. Debe indicarse que esta valoración se efectúa partiendo de una metodología con simplificaciones significativas, como estimar el fallo de las compuertas a partir de criterios cualitativos o consi-

derar que el sobrevertido se produce si el caudal entrante al embalse es superior al evacuado por el aliviadero. Esta última aproximación supone no considerar la laminación que se produce en el embalse.

Intervención en las compuertas manteniendo la presa en explotación

Las intervenciones en presas existentes son trabajos a medida en los cuales la solución adoptada debe adaptarse a las restricciones existentes. Algunos condicionantes tienen gran influencia en el diseño adoptado (R40). Es habitual tener limitaciones en los niveles de embalse, que pueden ser superiores para evitar inundaciones o cumplir resguardos, o inferiores por necesidad de aprovechamiento de la capacidad. Otro condicionante es el espacio disponible para ubicar el vertedero o la preferencia del titular de prescindir de las compuertas.

Al igual que en el diseño hay algunas necesidades que pueden tener influencia en el proceso constructivo. La principal deriva del hecho de intervenir en una presa en explotación que da un servicio que debe ser mantenido durante la ejecución, y la segunda está relacionada con el riesgo derivado de que se pueda producir una avenida durante los trabajos.

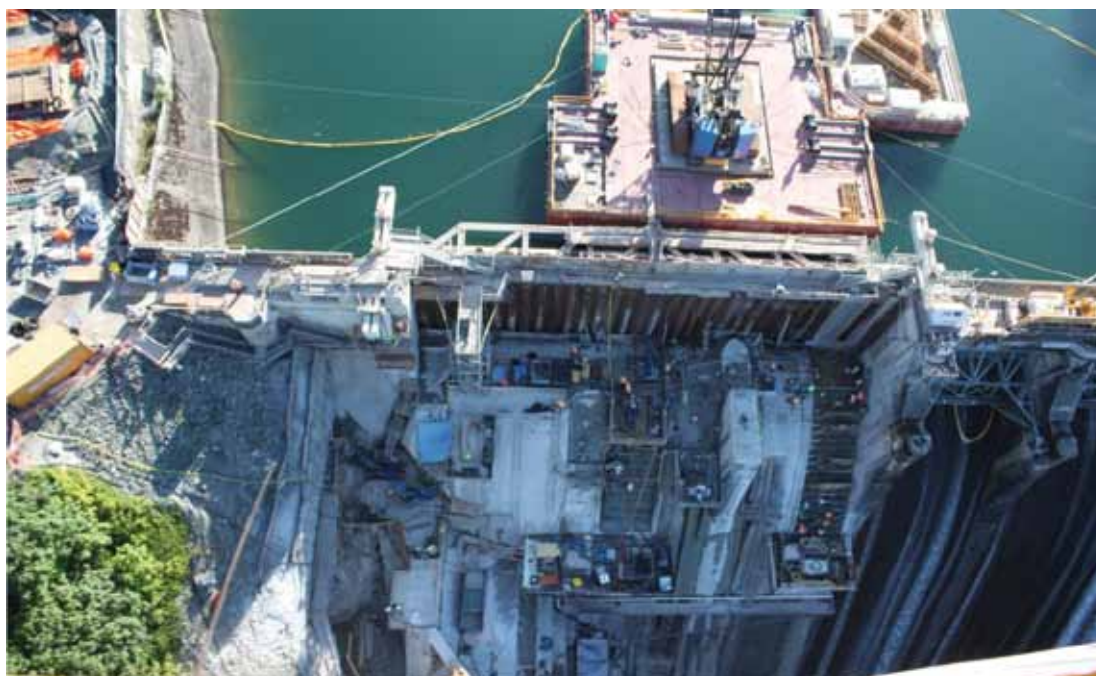


Fig. 4. Adaptación del aliviadero de la presa Ruskin (Canadá) (R33)

En la adaptación del aliviadero de la presa Ruskin (Cánada) se ha trabajado teniendo en cuenta ambas limitaciones (R33). Se trata de una presa de gravedad construida en 1929, en cuyo diseño original disponía de un aliviadero regulado con 7 compuertas Taintor. En el nuevo diseño el número de vanos se reduce a 5, que quedan equipados con compuertas de mayor tamaño. Se trata de un embalse de uso hidroeléctrico, por lo que se requería mantener el nivel lo más alto posible a la par que debían mantenerse operativas un número mínimo de compuertas (4 antiguas o 2 nuevas y 1 antigua). La programación de los trabajos y el elemento de protección frontal se muestran claves en el éxito del trabajo. La solución adoptada empleó una ataguía autoportante de grandes dimensiones, que permitía el cierre simultáneo de varios vanos prescindiendo de apoyos intermedios (fig. 4). La ataguía se diseñó con un potente bastidor de celosías metálicas y un tablero constituido por tablestacas de acero.

El análisis de riesgos también se puede utilizar para planificar las intervenciones en presas existentes y asignar las diferentes labores a las épocas del año en las cuales el riesgo, de desbordamiento o de inestabilidad por descalce de bloques o taludes, sea mínimo o asumible (R2).

5. Aliviaderos de labio fijo o regulados con compuertas

En este subtema se agrupan diversos informes que versan sobre las ventajas e inconvenientes de las dos configuraciones básicas de regulación de los aliviaderos: labio fijo o con compuertas.

La ventaja principal de los aliviaderos con compuertas es que se logra un mayor aprovechamiento del embalse, ya que parte de la sobreelevación que se produce en avenidas se incorpora a la carrera de explotación. Los aliviaderos con compuertas pueden verter caudales importantes desde el comienzo de la avenida, o antes de que ésta se presente. Este vertido puede ser ajustado por el explotador dentro de unos límites, lo cual le proporciona cierta capacidad de gestión de las avenidas (R10). Son aliviaderos con caudales específicos relativamente altos, por lo que se pueden encajar en lugares en los que la longitud del vertedero esté constreñida (R29).

Tener la seguridad de que los equipos se puedan maniobrar en cualquier circunstancia es fundamental en este tipo de aliviaderos. Como ya se ha comentado anteriormente, la imposibilidad de apertura de las compuertas

supone que la presa se encuentre en situación de emergencia que, dependiendo de las circunstancias, puede llegar a originar un accidente grave o incluso la rotura de la presa. Por otro lado, el propio manejo de las compuertas implica que se disponga de medios para su mantenimiento y operación, así como procedimientos de gestión en avenidas para aprovechar los recursos y evitar vertidos que puedan causar daños aguas abajo.

Los aliviaderos de labio fijo son mucho más simples. No cuentan con elementos mecánicos, por lo que son muy robustos ya que funcionan de forma automática y garantizan que el vertido es inferior a la punta del caudal entrante, debido a efecto laminador que se produce en el embalse. Evidentemente no aportan mucha flexibilidad, a lo sumo se pueden disponer algunos vanos a distinta altura si se busca mejorar la laminación de las avenidas de bajo periodo de retorno. La otra limitación de los aliviaderos de labio fijo es que, con diseños de vertederos convencionales, su capacidad específica de vertido es pequeña, por lo que necesitan ocupar un espacio más grande (R44). Ello puede ser un inconveniente en valles estrechos y escarpados.

La tendencia en muchos diseños, especialmente en los correspondientes a la adaptación de presas existentes, es buscar soluciones que equilibren los beneficios de ambas alternativas: seguridad y aprovechamiento del embalse. Para estos casos se describen diversas realizaciones que incluyen combinaciones de aliviaderos de los dos tipos (labio fijo y compuertas), combinación de aliviaderos el lámina libre y presión, uso de aliviaderos el laberinto o en tecla de piano, e instalación de compuertas fusibles.

En el R9 se realiza una comparación entre la capacidad de adaptación de los aliviaderos en lámina libre y los aliviaderos en presión, y se comprueba que los aliviaderos en lámina libre son capaces de asumir desviaciones en el cálculo mediante incrementos de altura en el embalse mucho menores que los aliviaderos en presión. Ello, se puede observar en las ecuaciones analíticas de ambos, en las que la carga sobre el aliviadero está elevada a $3/2$ en el caso de los aliviaderos en lámina libre y a $1/2$ en los aliviaderos en presión.

Los informes R16 y R23, analizan la adaptación de los aliviaderos de sendas presas en Suecia, Dabbsö y Trängslet, respectivamente. En ambos casos se plantean una serie de problemas similares. La adaptación responde a la actualiza-

ción del estudio hidrológico, y se estudió con los condicionantes de que no se deseaba perder capacidad de embalse y se precisaba mejorar la evacuación de árboles y flotantes que se presentan en avenidas. Las dos presas disponían en origen de aliviaderos regulados con compuertas y canales de descarga directamente excavados en la roca. La aproximación efectuada al problema es similar, el aliviadero con compuertas se complementó con un aliviadero de labio fijo y entrada lateral. El aliviadero de la presa Trängslet se equipó también con un nuevo vano regulado mediante una compuerta de clapeta para facilitar el vertido de los flotantes.

En algunos casos se disponen más de dos aliviaderos: uno principal o de servicio, otro secundario que colabora en la evacuación de avenidas y un tercer aliviadero de emergencia. Los labios y longitudes de cada vertedero se ajustan para que cumplan una función diferenciada. Es el caso del embalse de Kilen en Noruega (R18), construido mediante el cierre con siete presas de varios lagos de origen glacial. En el momento de su construcción disponía de un único aliviadero de superficie ubicado sobre una de las presas principales. La actualización del estudio hidrológico y la necesaria adecuación a la nueva normativa obligó a ejecutar dos nuevos aliviaderos: uno en túnel, más caro, para su uso como aliviadero complementario primigenio; y otro de superficie con vertido a un collado, más barato, que servirá como aliviadero de emergencia.

La existencia de compuertas exige la disposición de personal para su inspección y mantenimiento. A su vez, se precisa que este personal tenga disponibilidad para la maniobra de los equipos cuando sea preciso. Hoy en día muchos titulares de presas cuentan con medios limitados, en algunos casos ello les conduce a sustituir los aliviaderos regulados con compuertas por aliviaderos de labio fijo. Con esta medida se limitan los gastos de mantenimiento y de personal. En el cambio, no obstante, se pierde la capacidad de maniobra y de gestión de las avenidas, y puede perderse también el aprovechamiento de una parte significativa del embalse (en los últimos metros es donde existe una mayor capacidad de almacenamiento).

Para aprovechar esa capacidad con un aliviadero de labio fijo y con el condicionante de los resguardos existentes, es preciso aumentar la longitud del vertedero o bien introducir vertederos con capacidad específica más alta, como pueden ser los aliviaderos en tecla de piano (R45) o las compuertas fusibles (R36).

Los aliviaderos en laberinto o en tecla de piano son capaces de desaguar caudales específicos mayores que un aliviadero convencional dispuesto sobre la misma directriz. Por ello se han utilizado para reemplazar a los aliviaderos regulados con compuertas, de manera que no se pierda capacidad de almacenamiento ni de desagüe y que el funcionamiento sea robusto y automático.

Las compuertas fusibles también posibilitan el vertido de caudales específicos superiores a los de un vertedero convencional. Estas compuertas pueden tener un diseño plano o en laberinto (R36). En el primer caso el aumento de caudal vertido se produce al alcanzar el embalse una cota determinada, a partir de la cual la compuerta se desestabiliza, vuelca y el vano se abre, mientras que en el segundo se cuenta desde un primer momento con una capacidad de vertido mayor derivada de la configuración en laberinto. Las compuertas se pueden calibrar para que el vuelco se produzca de manera secuencial, a distintos niveles, y mejorar la laminación. La desventaja de todos estos elementos es que una vez puestos en funcionamiento no se pueden cerrar tras el paso de la punta y el embalse se termina vaciando hasta la base de las compuertas. El otro inconveniente es que cada vez que se activan se tienen que volver a instalar.

6. Incertidumbre en el estudio de avenidas e impacto en el diseño

La seguridad hidrológica e hidráulica es fundamental de cara a la seguridad de la presa. El diseño hidráulico debe asegurar que el aliviadero sea capaz de laminar y evacuar la avenida manteniendo un resguardo adecuado. Para que este diseño sea eficaz el estudio de avenidas en el que se sustenta ha de ser sólido. La determinación de las avenidas en proyecto y su comprobación posterior a lo largo de la vida de la presa es, por tanto, determinante.

Existen diferentes clasificaciones de las metodologías para la estimación de avenida. En el R24 se distingue entre métodos basados en observaciones, métodos basados en simulaciones (lluvia-escorrentia) y métodos mixtos. La mayor parte de los trabajos, a excepción de la aplicación de fórmulas empíricas o de métodos estadísticos sobre caudales registrados, combina registros de precipitación (los más habituales) con modelos de simulación lluvia-escorrentia, que pueden ser calibrados si se dispone de algún registro de aforos. Entre estas técnicas se diferencian dos grandes grupos, las deterministas y las probabilísticas.

En la mayor parte de los países del mundo se utilizan dos avenidas: una para el diseño y otra de mayor magnitud para la comprobación de la seguridad. En España, el diseño se basa en este concepto, definiéndose la avenida de proyecto y la avenida extrema. La magnitud de estas avenidas varía en función de la legislación existente en cada país y de las guías y recomendaciones de diferentes organismos. Es habitual emplear avenidas de diseños con un periodo de retorno de 1.000 años (para las presas cuya rotura puede producir consecuencias graves, lo equivalente a la categoría A de la normativa española) y de 10.000 años o la máxima avenida probable (PMF, *Probable Maximum Flood*) para la avenida de comprobación de la seguridad.

La PMF se obtiene a partir de un modelo determinista. Se basa en suponer que existen unos límites físicos que conforman un umbral superior de los procesos que dan lugar a las avenidas. Entre los informes presentados se observa que esta forma de definir la avenida tiene una aceptación muy amplia y que su uso está establecido en muchos países con experiencia en presas: Australia, Brasil, Canadá, Estados Unidos, Rusia o Suiza, entre otros.

El proceso de cálculo de la PMF no está reglado y se debe ajustar en función de las características específicas de cada presa (R9). La determinación de la precipitación máxima probable (PMP, *Probable Maximum Precipitation*) es uno de los pasos principales. Los modelos de cálculo se modifican en función del tipo de lluvia, y las condiciones climáticas de viento, temperatura, radiación solar y humedad. La PMP es la base de la PMF, que se obtiene mediante la aplicación posterior de modelos lluvia-escorrentía. Estos modelos se ajustan también a las condiciones específicas de la presa en estudio: estado inicial del terreno, duración del aguacero, existencia de nieve o glaciares en la cuenca, etc. El principal inconveniente de este método, aparte de la incertidumbre que existe en la definición de los diferentes procesos, es que no tiene asociado un periodo de retorno determinado, lo cual es de gran utilidad para su uso conjunto con las técnicas de análisis de riesgos.

Los métodos probabilísticos si asocian las avenidas a periodos de retorno. De hecho están basados en la extrapolación estadística de medidas de la precipitación y su posterior transformación mediante modelos lluvia-escorrentía. En este caso la principal limitación es la incer-

tidumbre existente en el paso a periodos de retorno altos o muy altos desde series de datos relativamente cortas. En el R24 se indica que las estimaciones más allá de tres a cuatro veces la duración de la serie de partida puede perder mucha fiabilidad.

En esta línea en el R28 se analizan el impacto de la longitud de las series de datos sobre los resultados del estudio hidrológico. Se estudia el caso de la presa Hardap (Namibia). La construcción de la presa finalizó en 1963 y su diseño se efectuó en base a una serie de 18 años. En 2011 se realizó una actualización del estudio hidrológico con una serie de 70 años y para la avenida de comprobación se obtuvo un caudal en torno a un 40 % superior al de diseño. En el informe se presenta un análisis de sensibilidad en el que se comparan los resultados obtenidos en función de la extensión de la serie de datos empleada para el estudio. Se analizan duraciones de 20, 30, 40, 50, 60 y 70 años. Los resultados obtenidos son interesantes, ya que se aprecia como las series de 20 y 30 años arrojan resultados sensiblemente inferiores a las del resto. Por lo que se concluye que, en este caso habría sido conveniente disponer al menos de una serie de 40 años para haber obtenido una mejor estimación de las avenidas.

En los informes presentados se recalca la importancia de obtener el hidrograma de la avenida y no disponer el foco únicamente sobre el caudal punta (R22, R38). En los embalses pequeños, con poca capacidad de laminación, la punta del caudal vertido será ligeramente inferior a la del caudal de entrada, por lo que en estos casos el caudal punta si es la variable que condiciona el diseño. Por otro lado, en los embalses grandes, con mucha capacidad de laminación la variable importante es el volumen. En toda la gama intermedia las dos variables son importantes y debe ser analizado un abanico de avenidas representativo de este efecto (R22).

Desde el punto de vista de la seguridad hidrológica de la presa el interés está en determinar si el aliviadero va a ser capaz de aliviar las avenidas afluentes y si se puede producir el desbordamiento de la presa (Escuder y González, 2014; Jiménez, 2015). Para ello es ineludible analizar el tránsito de la avenida por el embalse y determinar cuáles serán los niveles que se alcancen en el proceso de laminación. La determinación del riesgo hidrológico de la presa se puede efectuar mediante la combinación de modelos probabilísticos con técnicas de simulación

estocástica (R38, R43). Los resultados de estos estudios, conjuntamente con la zonificación del cauce aguas abajo conforman la base de modelo de análisis de riesgos que constituye una herramienta de gran utilidad para evaluar la necesidad y efectividad de las posibles actuaciones (de mejora de seguridad de la presa o de protección del cauce) y priorizar las inversiones que sean precisas (R31).

El caso de estudio presentado en el R38 abarca todo el sistema de presas del río Campbell (Canadá), que consta de tres presas situadas en cascada. Se analiza un matiz muy interesante desde el punto de vista de la seguridad hidrológica. En el informe se indica que la exigencia no debe centrarse solo en la avenida de comprobación de la seguridad, bien sea la PMF u otra de alto periodo de retorno, ya que pueden existir otros modos de fallo relacionados también con las situaciones de avenida que resulten más perjudiciales. La rotura de la presa de Tous es un buen ejemplo de ello, en el que la concatenación de una avenida importante (pero inferior a la de diseño) con otra serie de circunstancias desfavorables condujeron a su colapso. Algunas de las circunstancias que agravan la situación pueden ser los deslizamientos de ladera en el

embalse, el taponamiento del aliviadero por flotantes u árboles, o el fallo de accionamiento de las compuertas.

Otra idea interesante, relativa a la imposibilidad de apertura de compuertas por fallo en los sistemas de alimentación, es que es un modo de fallo que tiene consecuencias graves ya que impide el accionamiento de todos los equipos (R38). En dicho caso la capacidad de vertido disminuye significativamente. Este escenario no está siempre cubierto de forma adecuada en los diseños y estudios de seguridad, en los cuales se utilizan reglas del tipo 'n+1' pensando que con ello se garantiza la fiabilidad de funcionamiento. Ello, mejora la fiabilidad en otras situaciones pero no respecto a un fallo en la alimentación.

Impacto del cambio climático en las avenidas

Entre las mediciones de temperatura que se vienen realizando desde el pasado siglo se aprecia una tendencia en el aumento de las temperaturas a nivel global. Este incremento puede producir un impacto en otras variables climáticas como son las precipitaciones. Las precipitaciones tienen una relación directa con la escorrentía y por tanto con las aportaciones y avenidas que pueden recibirse en las presas.

El impacto del cambio climático debe ser analizado por la influencia que pueda tener en la funcionalidad y seguridad de la presa. Los modelos climáticos y los itinerarios de emisiones de referencia (antiguos escenarios) están en continua evolución. Los estudios suelen analizar diferentes modelos e itinerarios para comparar sus resultados. Estos suelen tener una dispersión muy importante, aunque el análisis conjunto de todos ellos puede revelar alguna tendencia (R30). Por ejemplo, en España, a nivel general, los modelos sugieren una disminución de las aportaciones y un incremento del coeficiente de variación, aunque en los análisis a nivel de demarcación hidrográfica se obtienen diferencias significativas respecto a esa tendencia general (Cedex, 2010).

Estas diferencias se muestran también en el R15, en el que se analiza el impacto del cambio climático en seis presas distribuidas de manera homogénea en Suecia. Como norma general se prevé un aumento de las precipitaciones y un cambio de estacionalidad, que se presentará unido a una disminución en la precipitación nival y a una modificación de la temporada de deshielo. Un estudio similar se llevó a cabo en Noruega (R19) obteniéndose resultados

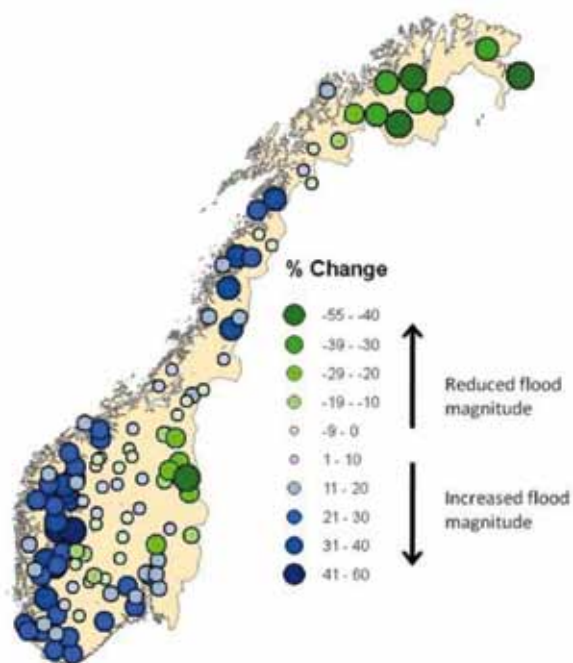


Fig. 5. Variación de las avenidas en Noruega para el periodo 2071-2100 (periodo de control 1961-1990) (R19)

parecidos. En la figura 5 se observa la variación espacial del impacto previsto. Ello depende de que los cambios induzcan a un mayor o menor solape de las riadas debidas a ambos fenómenos.

El estudio del impacto del cambio climático en la seguridad hidrológica de las presas comprende el acoplamiento de distintos modelos de comportamiento de gran complejidad:

- Un modelo de emisiones que refleje la evolución de la concentración de los gases que producen el efecto invernadero.
- Un modelo climático que refleje el impacto de dichas emisiones sobre las variables climáticas que afectan al ciclo hidrológico.
- Un modelo hidrológico donde se establezcan las avenidas y un modelo de laminación en el cual se determinen los niveles de embalse.

El establecimiento de estos modelos se basa en una serie de proyecciones en cuya determinación existen múltiples fuentes de incertidumbre (R30). Por ejemplo, la evolución de las condiciones sociales, económicas, medioambientales; la evolución de las políticas a nivel regional y global; o la evolución de las concentraciones de gases y vapor de agua en la atmosfera, entre muchos otros. En este marco de incertidumbre, el análisis de ICOLD sobre la evolución de las avenidas durante el pasado siglo no reveló ninguna tendencia al alza, ni en lo relativo a caudales punta ni a volúmenes de aportación. El último informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2013) prevé cambios en las avenidas, si bien matiza que la proyección es de baja confianza y que la variabilidad de las mismas seguirá estando básicamente influenciada por la variabilidad climática natural.

Como conclusión de estas reflexiones en el R30 se indica que las intervenciones en presas existentes deben ser estudiadas cuidadosamente, y que la estrategia de adaptación al cambio debe ser flexible y estar apoyada en el seguimiento de la evolución de las avenidas registradas y de las proyecciones. Existen líneas de investigación centradas en el cambio climático y sus impactos, por lo que conforme avance el tiempo se podrá contar con un mayor número de registros, acotar la incertidumbre y disponer de modelos más precisos. **ROP**

Referencias

- CEDEX (2010), Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Madrid (España).
- Connelly C.R. (2015), *General Report Q.97, Proceedings 25th ICOLD Congress*, Stavanger (Noruega).
- Escuder I. & González J. (Eds.) (2014), Metodología para la evaluación del riesgo hidrológico de presas y priorización de medidas correctoras, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid (España).
- Esteban F. & Granados A. (2012), Q.94: Gestión de avenidas, *Revista de Obras Públicas*, 159(3.536):65-82.
- Girón F. (1988), La evacuación de avenidas durante la explotación de los embalses, en *Our Work on Dam Construction*, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Granada (España).
- ICOLD (2015), *Question 97: Spillways, Proceedings 25th ICOLD Congress*, Stavanger (Noruega).
- IPCC (2013), *Climate Change 2013: The Physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Stocker T.F. et al. (Eds), Cambridge University Press, Nueva York (Estados Unidos).
- Jiménez A. (2015), Desarrollo de metodologías para mejorar la estimación de los hidrogramas de diseño para el cálculo de los órganos de desagüe de las presas, Tesis Doctoral, ETSI Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid (España).
- SPANCOLD (2012), Guía Técnica 8 (I). Análisis de riesgos aplicado a la gestión de la seguridad de presas y embalses, Comité Nacional Español de Grandes Presas, Madrid (España).
- Toledo M.A., Morán R. & Oñate E. (Eds.) (2015), *Dam protections against overtopping and accidental leakage*, CRC Press, Leiden (Países Bajos).

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.

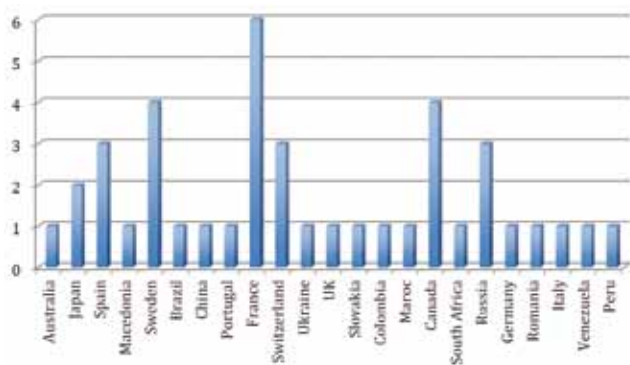


Fig. 1. Distribución de artículos presentados por países

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-

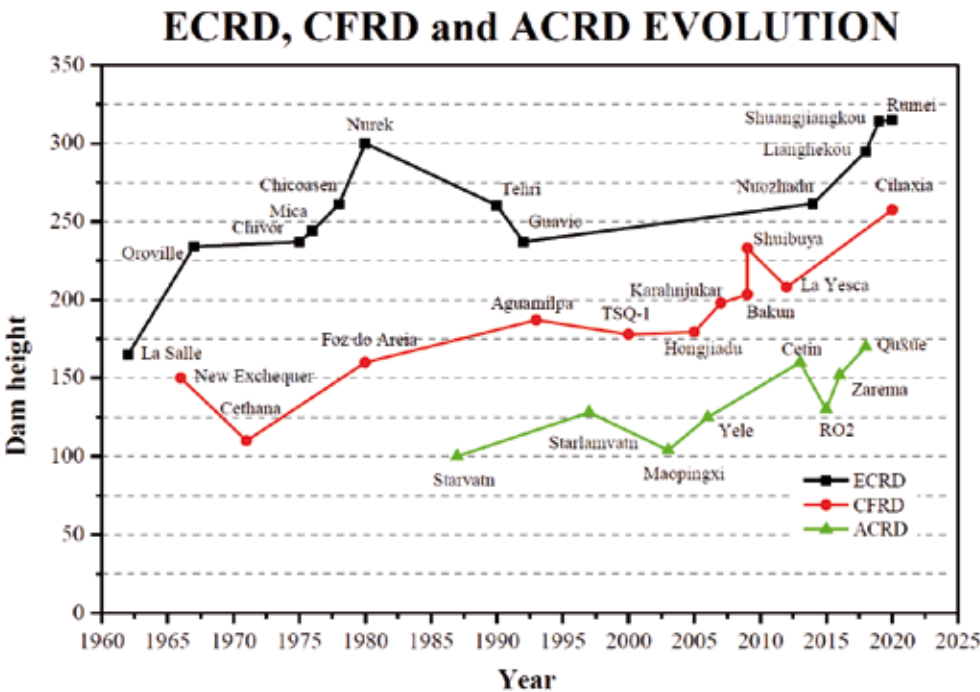
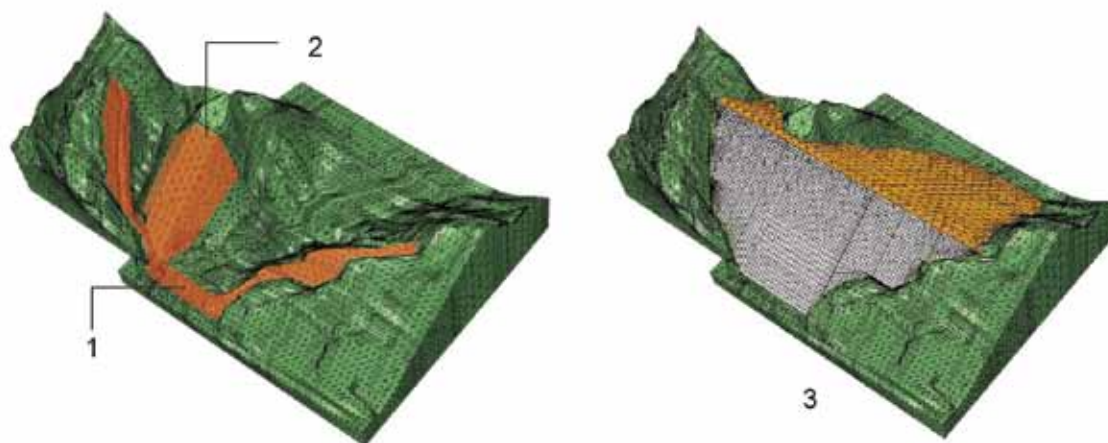


Fig. 2. Desarrollo de presas de materiales sueltos de gran altura



1. Plinth excavation 2. Protuberance excavation 3. Dam Numerical Model

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

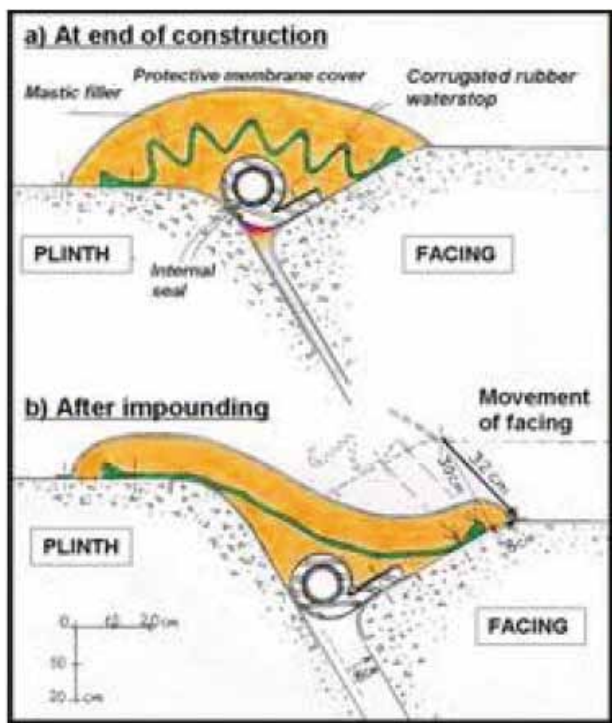


Fig. 4. Disposiciones específicas de la junta perimetral en la presa de Mazar (Ecuador)

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.

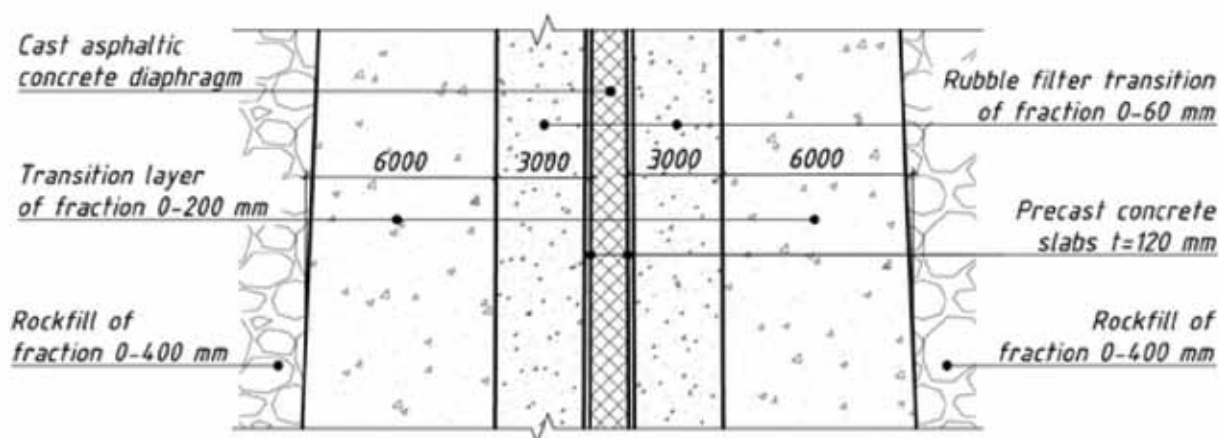


Fig. 5. Diseño de pantalla asfalto-hormigón como núcleo de presa de materiales sueltos

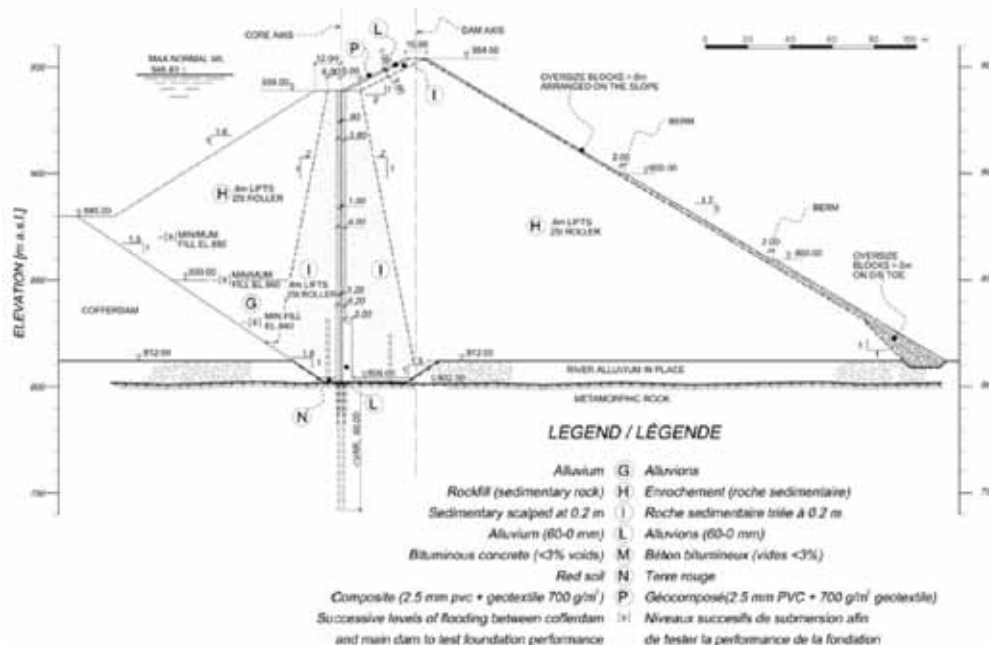


Fig. 6. Sección tipo de la presa de Zarema (Etiopía)

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

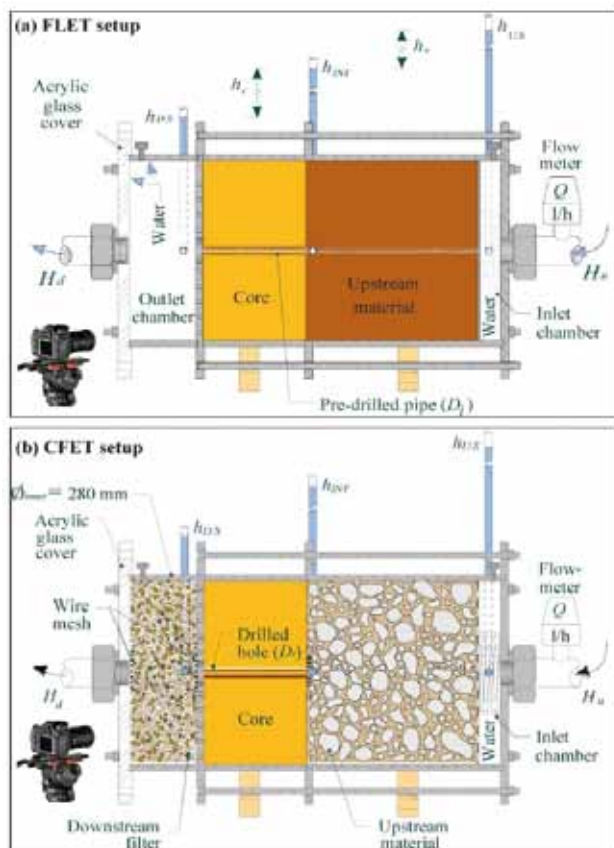


Fig. 7. Esquemas de ensayos FLET y CFET

cimentación de la presa de Andévalo (ECRD, 78 metros de altura en Huelva) mediante el revestimiento del cimient 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 auscultados 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 'caminos' 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**

Q99. Mejora y reingeniería de las presas existentes



Fernando Girón Caro

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Vocal titular del Comité Nacional Español de Grandes Presas



Ismael Reviriego Vasallo

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Vocal colaborador del Comité Nacional Español de Grandes Presas

Resumen

En este artículo se presenta un resumen del desarrollo de la Q.99 del XXV Congreso Internacional de Grandes Presas de Stavanger sobre 'Mejora y reingeniería de las presas existentes', analizando la ponencia del relator general y las comunicaciones seleccionadas para su presentación oral, dedicando una especial atención a las comunicaciones presentadas por los ingenieros españoles.

Palabras clave

Mejora, reingeniería, auscultación, sedimentos, recrecimiento, explotación, rehabilitación, renovación

Abstract

This article presents a summarize of Q.99 from the XXV International Congress on Large Dams in Stavanger about "Improving and reengineering of existing dams", analyzing the general reporter speech and the papers selected for oral presentation, placing particular emphasis on those presented by Spanish engineers.

Keywords

Improvement, reengineering, monitoring, sediments, heightening, management, rehabilitation, upgrade

1. Introducción

La cuestión Q99, dedicada a la mejora y reingeniería de las presas existentes, fue uno de los cuatro temas seleccionados para el XXV Congreso Internacional de Grandes Presas celebrado en Stavanger en el mes de junio de 2015.

Se trata de un tema ampliamente tratado por el ICOLD en los últimos congresos celebrados. Cabe destacar que en los dos últimos congresos también apareció este tema en sendas cuestiones:

- Q95/2012 Tokio. Título: 'Envejecimiento y mejora' (*Aging and improvement*).
- Q90/2009 Brasilia. Título: 'Mejora de presas existentes' (*Improvement of existing dams*).

Además es un tema de especial relevancia en España, ya que más del 50 % de nuestras grandes presas tienen una antigüedad superior a los 50 años. A continuación, se adjunta un gráfico que muestra la evolución de la construcción de presas en España:



Fig. 1. Evolución del número de presas en España. Fuente: Magrama

2. Temarios de la cuestión e informes presentados

En total se presentaron 55 comunicaciones, de las cuales 19 fueron expuestas oralmente. La participación se extendió a los 5 continentes gracias a la aportación de 24 países. En el siguiente cuadro se muestra el número de comunicaciones aportadas por cada país:

País	Contribuciones
España y Francia	7
Noruega	6
Suiza	5
Irán, Italia, Japón y Suecia	3
Reino Unido, EE. UU. y República Checa	2
Austria, Burkina Faso, China, Guatemala, India, Marruecos, Pakistán, Polonia, Portugal, Rumanía, Rusia y Eslovaquia	1



Fig. 2. Distribución de ponencias a escala mundial

Cabe destacar que España fue la que más comunicaciones presentó junto con Francia.

Los temas seleccionados para esta cuestión fueron:

- Tema A. ‘Aumento de la capacidad útil de embalse mediante recrecimiento de la presa o elevación de los niveles de operación’ (ver Tabla 1).
- Tema B. ‘Mantenimiento de la capacidad útil del embalse. Métodos para la limpieza de sedimentos (*flushing*, dragado, excavación, etc.)’ (ver Tabla 2).
- Tema C. ‘Mejora del sistema de auscultación y nueva instrumentación’ (ver Tabla 3).
- Tema D. ‘Renovación o puesta fuera de operación de presas para cumplir las nuevas condiciones de operación o medioambientales’ (ver Tabla 4).

Del total de 55 ponencias presentadas fueron seleccionadas 19 ponencias para su presentación oral en el congreso, que divididas por temas se recogen en las siguientes tablas junto con sus autores:

Autores	Título (traducido)
Adama Nombré. Burkina Faso	‘Implementación de “fusibles” de hormigón en la presa de Gaskaye para aumentar la capacidad de embalse’
P. Droz. Suiza	‘Recrecido de la presa de Vieux Emosson
A. Soriano. España	‘Recrecido de la presa de Yesa incrementando la estabilidad del estribo derecho’

Tabla 1

Autores	Título (traducido)
C. Auel. Suiza/Japón	‘Optimización de la sostenibilidad de los túneles by-pass de sedimentos para controlar los sedimentos en el embalse’
Yuji Numano. Japón	‘Estudio experimental de las condiciones de uso del método de tubería de succión vertical múltiple’
T. Jacobsen. Noruega	‘Instalación de una tubería encamisada de 1.200 mm bajo la presa de Bajna, en Albania, para dragado de alta capacidad por hidrosucción’
T. Yoshimura. Japón	‘Retroalimentación y modificaciones en la operación en cascada de presas para facilitar el flujo de sedimentos en la cuenca del río Mimikawa’
C. Petreuil. Francia	‘Gestión de sedimentos en la cuenca del Ródano. Conceptos y ejemplos prácticos’

Tabla 2

Autores	Título (traducido)
K. Radzicki. Polonia	‘Un sistema innovador en 3D para el control de filtraciones y procesos de erosión interna y un ejemplo de su uso para la renovación del sistema de auscultación de la presa de Kozłowa Góra en Polonia’
H. Stahl. Suiza	‘Renovación del sistema de auscultación de la presa de Emosson para la construcción y operación de una central de bombeo’
A. Hughes. Reino Unido	‘El uso de nuevas técnicas de detección para ayudar en la evaluación de seguridad de la presa y los trabajos de reparación.’
W. Lienhart. Austria	‘Nuevos conceptos para el control de movimiento de juntas en presas de hormigón de centrales de bombeo’
R. Boudon. Francia	‘Evoluciones recientes en la auscultación de presas’
B. Randall y M. Bennet. EE. UU.	‘Sistemas de auscultación de presas: gestión del riesgo a través de estrategias de planificación e implementación’

Tabla 3

Autores	Título (traducido)
M.G. de Membrillera. España	‘Vista general de las mejoras de seguridad y reingeniería de la presa de Contreras’
L. Spasic-Gril. Reino Unido	‘El riesgo de una presa inacabada: Rehabilitación de la presa de Marmarik en Armenia’
E.A. Vartdal. Noruega	‘Dos embalses se convierten en uno por la reposición de 5 viejas presas por dos nuevas presas de escollera’
J. Cunha. Portugal	‘Sustitución de una presa existente afectada por la reacción ARR. El caso de la presa de Alto Ceire’
P.Royer y M. Lino. Francia	‘Desmantelamiento de la presa de la Ayrette y restauración del emplazamiento’

Tabla 4

El documento y la presentación de estas ponencias y del resto no seleccionadas se puede descargar en la web del ICOLD (www.icold-cigb.net/).

3. Resumen de las contribuciones españolas

De las siete comunicaciones enviadas por el Comité Español en esta cuestión dos fueron seleccionadas para su presentación oral, y se resumen a continuación:

3.1. Vista general de las mejoras de seguridad y reingeniería de la presa de Contreras

Ponencia elaborada por José María Benlliure Moreno y Emilio Carrillero Aroca de la Confederación Hidrográfica del Júcar, junto con Manuel G. de Membrillera Ortuño, de la consultora Ofiteco. La presentación oral en el congreso corrió a cargo de este último.

A continuación se realiza un resumen de la ponencia realizada con lo que más destacó el ponente:

El embalse de Contreras tiene una capacidad de 852,4 hm³ a máximo nivel normal (669 m.s.n.m), pero tiene una limitación de llenado por razones de seguridad desde su puesta en carga en los años setenta, disponiendo de un embalse útil de 444,04 hm³ que corresponden a un máximo nivel normal de 661 m.s.n.m. La presa principal es de gravedad recta, de 118 metros de altura, mientras que la presa del collado es de gravedad curva y tiene 43,4 metros de altura. El uso principal del embalse es el abastecimiento de agua al área metropolitana de Valencia, aunque también sirve para aprovechamiento hidroeléctrico, laminación de avenidas, riego y usos recreativos.

A continuación, se muestra una foto del sistema y la sección tipo de ambas presas:



Fig. 3. Vista general del emplazamiento

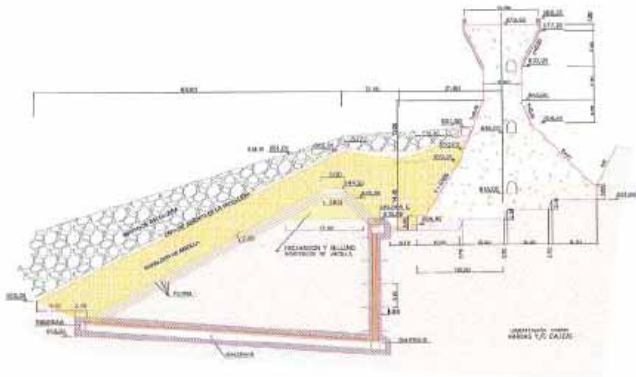


Fig. 4. Sección transversal de la presa de collado

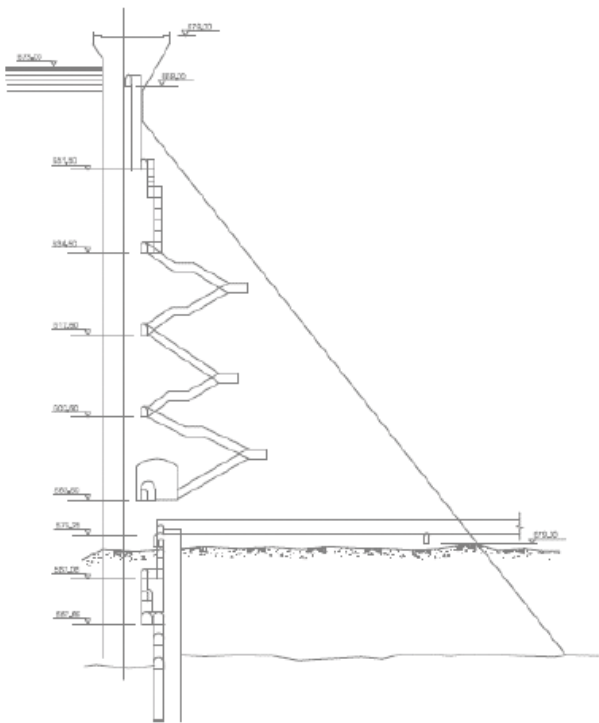


Fig. 5. Sección transversal de la presa principal

Cuando comenzó la explotación del embalse en 1974, inmediatamente apareció una filtración de $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ en el estribo izquierdo de la presa principal que provenía de la cimentación kárstica, a unos 100 m de profundidad. Además aparecieron varios manantiales hasta 10 km aguas abajo de la presa. Con

el embalse a la cota 651 m.s.n.m., la filtración era de entre 4 y $5 \text{ m}^3/\text{s}$ y además, en la presa del collado aparecieron filtraciones con arrastre de arcillas provenientes del manto de protección colocado sobre las margas del cemento.

Durante los 8 años siguientes, se realizaron inyecciones en la presa principal y sus estribos y se selló con hormigón la galería de control del manto de arcillas de la presa del collado. Desde entonces quedó la restricción de máximo nivel en los 651 m.s.n.m.

Se consideró que una capacidad de embalse de 400 hm^3 era suficiente para cubrir las demandas asociadas al embalse de Contreras. Este volumen se consigue con el embalse situado a la cota 648,5 m.s.n.m, dejando un margen de seguridad hasta los 651 m.s.n.m. En 1996 se llevó a cabo un proyecto para mejorar la explotación del embalse y evitar que se superara la cota 651 m.s.n.m. durante los episodios de avenidas, dotando a la presa principal de un aliviadero intermedio con el umbral a la cota 630 m.s.n.m., que complementara y supliría al aliviadero de superficie de la presa principal. Este nuevo aliviadero conecta con el túnel del 'morning glory' existente, y tiene una capacidad de $400 \text{ m}^3/\text{s}$. A continuación, se muestra un esquema de este aliviadero intermedio, operativo en la actualidad:

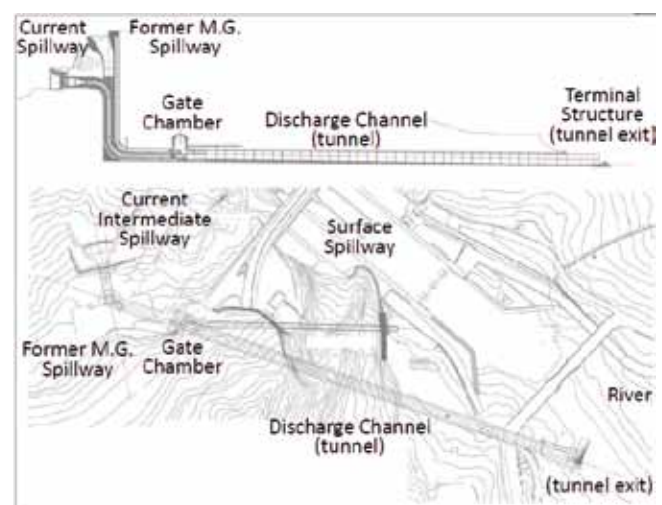


Fig. 6. Planta y sección transversal del nuevo aliviadero

En el año 2010 el embalse alcanzó de nuevo la cota 651 m.s.n.m., y la carga hidráulica aguas abajo de la presa del collado aumentó y todos los pozos artesianos existentes en el camping de aguas abajo aumentaron su caudal significa-

tivamente. Se adjunta un corte geológico realizado desde la presa del collado hacia aguas abajo.

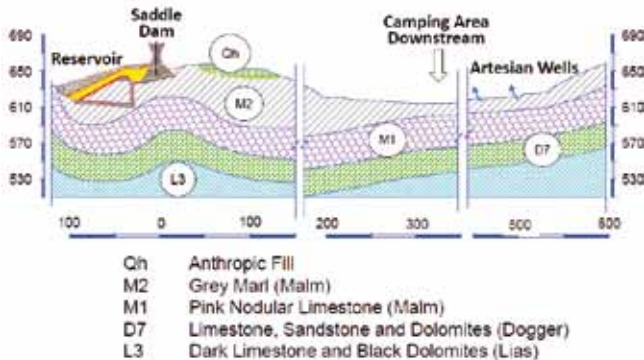


Fig. 7. Corte geológico en la presa de collado

Como consecuencia de ello, la Confederación Hidrográfica del Júcar realizó los estudios pertinentes y elaboró un proyecto de ampliación del sistema de auscultación de ambas presas.

La Confederación Hidrográfica del Júcar sigue de cerca la evolución de estas presas y continúa realizando estudios, investigaciones y trabajos que aseguren que se cumplen los más altos estándares de seguridad. Es necesario revisar la capacidad de alivio de la presa a la luz de los datos recabados durante estas últimas décadas, para poder limitar el nivel máximo del embalse en período de avenidas, siendo una de las opciones para aumentar el resguardo, el rebaje de la cota del labio del aliviadero de superficie.

3.2. Recrecido de la presa de Yesa. Mejora de la estabilidad del estribo derecho

La ponencia la redactaron René Gómez, Fernando Estéban y Marcelo Merino, de la Confederación Hidrográfica del Ebro y Antonio Soriano de la Universidad Politécnica de Madrid; y fue presentada por este último.

A continuación se hace un resumen de la presentación con lo más destacado por el ponente:

La antigua presa de Yesa está situada en un valle profundo del río Aragón, tributario del Ebro desde los Pirineos. El primer diseño de la presa data de 1912, aunque la construcción no comenzó hasta 1928 (parada entre 1933 y 1946) y finalizó en 1959.

Geológicamente nos encontramos con estratos de margas y limonitas que, cerca de la superficie, aparecen intercalados con estratos alterados (*flysch* de Yesa). Existe una falla de cabalgamiento a lo largo del río. En la siguiente figura se muestra la estructura geológica con la presa antigua:

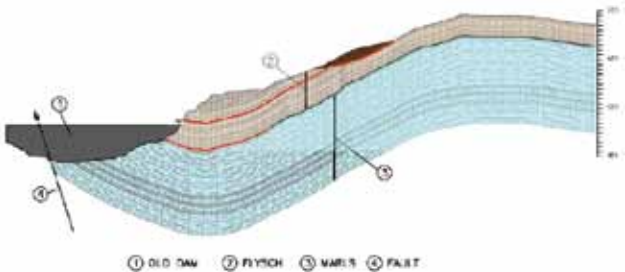


Fig. 8. Corte geológico de la margen derecha

Durante la construcción de la presa se detectó la inestabilidad del estribo derecho y se colocaron muros de contención para permitir las excavaciones del cimiento. El único signo de inestabilidad ocurrió tras un año de operación, cuando el embalse estaba bajo, y fue un pequeño deslizamiento en la ladera de la margen derecha aguas arriba de la coronación, sin consecuencias importantes.

Las nuevas necesidades de agua para riegos y para el abastecimiento a la ciudad de Zaragoza hicieron necesario un aumento de la capacidad de embalse de los 400 Hm³ actuales a más de 1.000 Hm³, recreciendo la antigua presa en 36 metros. Para este recrecimiento se valoraron varias opciones, como el recrecimiento de la presa existente en hormigón, la construcción de una nueva presa aguas arriba o aguas abajo de cualquier tipología y por último la seleccionada, que fue una presa de materiales sueltos con pantalla de hormigón. A continuación se muestra la sección tipo:

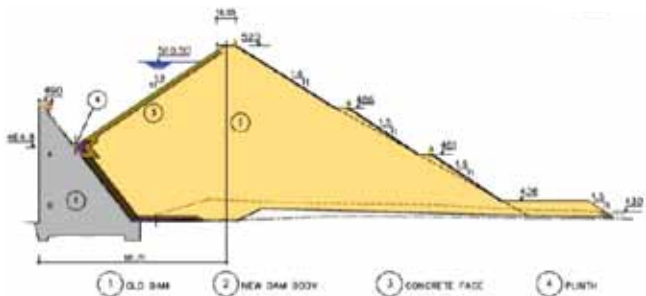


Fig. 9. Sección tipo de la nueva presa

Las obras comenzaron en 2002 con la construcción de una nueva carretera que sustituyera a la antigua que recorría el valle por la margen derecha y ya en 2003 se iniciaron las obras de preparación de la cimentación de la nueva presa. Conviene reseñar que en la ladera de margen derecha se construyeron varias urbanizaciones, cerca de la presa. A continuación se muestra una fotografía en la que se puede ver la carretera, las viviendas y el estado de las obras en mayo de 2007:



Fig. 10. Vista general de la presa y la ladera de margen derecha

Hasta el verano de 2012 no aparecieron signos claros del movimiento de la ladera, cuando los inclinómetros instalados detectaron un deslizamiento. En ese momento no existía ningún signo de deformación en superficie (ver fig. 11).

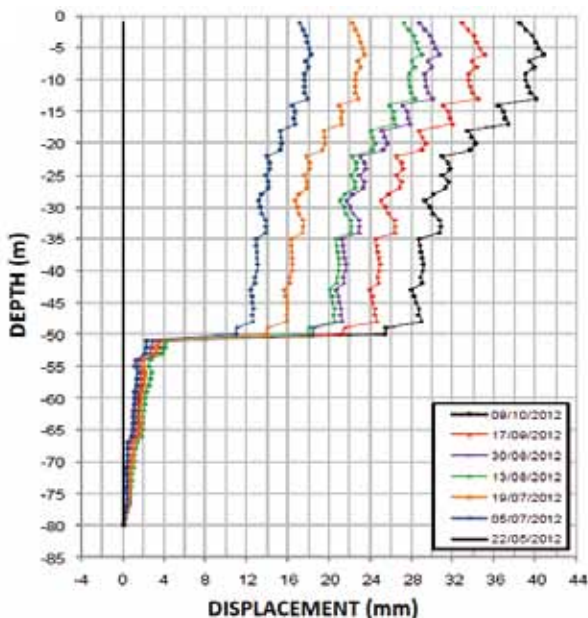


Fig. 11. Evolución del inclinómetro SCI-03 (mayo-octubre 2012)

También se registraron signos de movimiento con el sistema de auscultación de la antigua presa, detectándose que las juntas entre bloques cercanos al estribo derecho no se abrían en invierno e incluso que algunos bloques estaban levantándose (más de 1 cm en 10 años) (ver fig. 12).

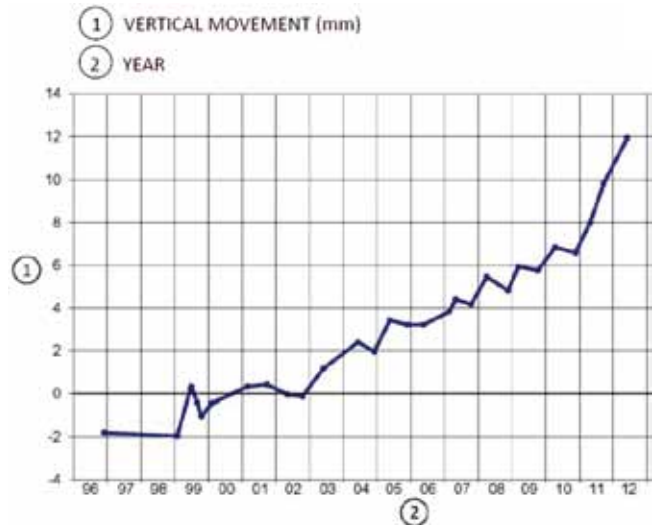


Fig. 12. Desplazamiento vertical del bloque del estribo derecho

La pronta detección del movimiento permitió llevar a cabo dos acciones inmediatas, parar los trabajos de excavación y poner “peso” por encima del estribo derecho de la presa. Además se colocaron elementos de auscultación para caracterizar con más detalle el movimiento.

En octubre de 2012 aparecieron varias grietas en la nueva carretera, por encima del eje de la presa. Se detectó un incremento en la velocidad de los movimientos en la ladera, por lo que se realizó un seguimiento exhaustivo, generando mapas de movimientos cada semana. Además se estableció un umbral para una posible evacuación de las viviendas dentro del área afectada por el deslizamiento. Si la velocidad era superior a 2,5 cm/semana se evacuarían las viviendas y comenzaría a excavar la zona superior de la zona de deslizamiento.

En febrero de 2013 se alcanzó el umbral y se ejecutaron las medidas previstas, consiguiendo reducir casi a cero tanto la velocidad del deslizamiento como la elevación del estribo derecho de la antigua presa. A continuación se muestra un plano de planta y una gráfica con las velocidades del deslizamiento:

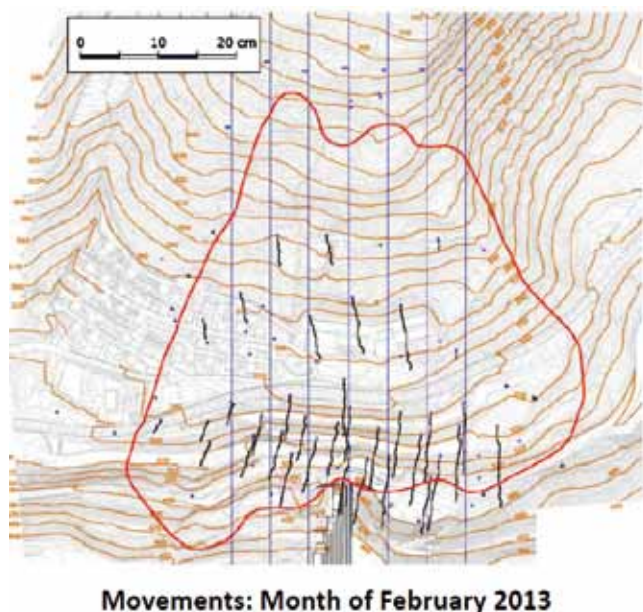


Fig. 13. Movimientos en la ladera en febrero 2013

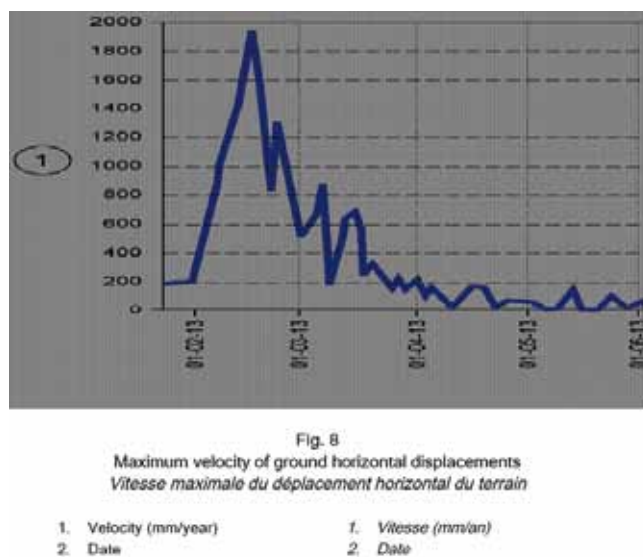


Fig. 14. Velocidad máxima de desplazamiento horizontal

A continuación, se muestra una foto con la situación de las obras en junio de 2015 y la ladera estabilizada:



Fig. 15. Vista general de la estabilización (junio 2015)

Las principales conclusiones expuestas por el ponente fueron las siguientes:

- Deslizamientos en grandes masas de roca con separaciones profundas entre superficies pueden no generar daños visibles en superficie que permitan su detección temprana, incluso con movimientos de 20 cm.
- Los problemas de estabilidad se pueden detectar antes de que aparezcan signos en superficie si se dispone de un sistema auscultación adecuado.
- Problemas de estabilidad como el de este caso de Yesa se pueden analizar y resolver antes de que se produzcan daños a la población existente en la zona de deslizamiento.
- La velocidad de deslizamiento puede ser atenuada, e incluso llegar a pararse totalmente, con la excavación de la parte alta de la zona deslizada y la colocación de ese material cerca de la base de la misma.
- Para conseguir el nivel de seguridad exigido ante deslizamiento en casos como este, cuando la colocación de materiales en el pie interfiere con la operación del embalse, se necesitan anclajes de alta capacidad.

4. Resumen del informe del ponente general

El relator general de esta cuestión fue el Prof. Laurent Mouvet de Suiza. A continuación se recoge un resumen de la ponencia con los principales puntos tratados.

La vida útil de una presa se resume en el siguiente gráfico, que muestra cómo tras el proyecto y la construcción comienza una etapa cíclica de mejora continua y reingeniería que permite adaptar la infraestructura al nuevo entorno social, económico y/o medioambiental, realizando una renovación, una rehabilitación o incluso un desmantelamiento de la presa cuando ya no es útil para la sociedad.

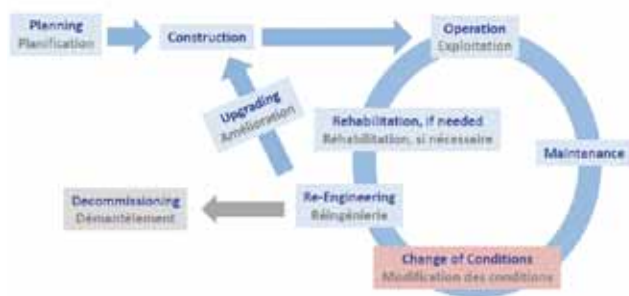


Fig. 16. Fases de la vida útil de una presa

4.1. ¿Por qué renovar y optimizar las presas existentes?

El proceso de toma de decisiones para el diseño previo y la construcción de una presa es largo y complejo. Deben tenerse en cuenta todas las ventajas e inconvenientes, y a veces los intereses son contrapuestos. Finalmente, la decisión de construir una presa se toma en un determinado momento y con las mejores herramientas y datos disponibles.

Las principales incertidumbres que pueden condicionar la eficacia del diseño inicial son las siguientes:

- **Incetidumbre hidrológica:** durante el diseño de una presa se realizan análisis predictivos de los caudales entrantes con métodos diversos y utilizando los datos disponibles. Una vez construida la presa y tras varios años de operación se dispone de datos reales que permiten comprobar la bondad de la estimación previa y revisar el diseño de la misma si fuera necesario. Además, el cambio climático ha modificado la situación en muchas regiones alterando significativamente el régimen de las aportaciones, principalmente en los fenómenos extremos de sequía y episodios de avenidas. Por último, la normativa y los estándares cambian. Todo esto puede hacer necesaria una revaluación o rediseño de una presa o de sus parámetros de explotación.

- **Pérdida de volumen útil de embalse por sedimentación:** en algunos casos este proceso puede ser irreversible o requerir

un gran despliegue de medidas. Por tanto, el desarrollo de nuevas técnicas ya sean preventivas, como una política agraria que luche contra la erosión, o medidas que permitan el paso de los sedimentos a través del embalse constituyen un área de trabajo a desarrollar.

- **Cambios en la demanda:** la mayoría de las presas antiguas fueron construidas con un único objetivo basado en una previsión de demanda y necesidades a medio y largo plazo. Sin embargo, a menudo estas previsiones han acabado siendo infraestimadas o erróneas, y la demanda las ha superado o han aparecido nuevos usos. En el caso del riego la población ha aumentado, el mercado agrícola ha cambiado mucho con la globalización y los cambios de cultivo y las nuevas técnicas han modificado la naturaleza estacional de esta demanda. En el caso del suministro de agua potable la emigración a las ciudades y la demanda social de una mejor salud pública han convertido este tema en esencial. Y, por último, en el campo de los aprovechamientos hidroeléctricos, el desarrollo de nuevas energías renovables ha modificado significativamente la estructura del mercado de la venta de energía. Las centrales hidroeléctricas son el complemento ideal para estas nuevas fuentes de energía por la capacidad de almacenamiento de la misma y para mantener la estabilidad de la red de distribución. Además la energía hidroeléctrica no afecta a la salud pública ni a la contaminación del aire.

- **Cambios en las necesidades de protección:** el cambio climático ha remarcado la importancia de los fenómenos extremos de sequía e inundaciones. Las presas pueden jugar un papel relevante si disponen de volumen suficiente y si se explotan correctamente. Cada vez más a menudo el efecto laminador de avenidas asociado a las grandes presas se ha puesto de manifiesto evitando inundaciones, manteniendo un nivel de embalse bajo en los períodos de avenidas.

- **Cambios regulatorios:** Los cambios legales en diferentes países resultan, en algunos casos, en modificaciones significativas que deben llevarse a cabo en la presa o en su operación. Algunos ejemplos son la revisión del sistema y de los procedimientos de auscultación, el régimen de caudales ecológicos o la instalación de sistemas de aviso a población.

4.2. Recrecido de presa o elevación de los niveles de explotación

Este tema fue ya tratado en el congreso de ICOLD de 2009 celebrado en Brasilia. Si es factible llevarlo a cabo es sin duda alguna una opción que consigue mejorar las prestaciones de

una presa existente o adaptarla a un nuevo entorno. Debe tenerse en cuenta que no se puede realizar en todos los casos y está sujeto a condiciones muy particulares:

- **Geología:** una presa está formada por una pared o terraplén, la cimentación y los estribos izquierdo y derecho. Estos cuatro elementos deben ser tenidos en cuenta con la misma atención durante el diseño y la construcción. Para entender el comportamiento global debe recurrirse a un modelo geológico adecuadamente definido por un geólogo y debe comprobarse durante la construcción y la fase de puesta en carga de la presa. Si se consigue conocer correctamente la respuesta del cimientado será más fácil saber si la presa puede soportar cambios como la elevación de la coronación o de los niveles de explotación, o la velocidad de llenado o vaciado. Cuando se realicen modificaciones de este tipo es importante tener en cuenta la estabilidad de las laderas contiguas al embalse.
- **Conocimiento del comportamiento de la presa:** el comportamiento de la presa se conoce a través de la auscultación y permite evaluar las hipótesis asumidas en la fase de diseño, reduciendo en algunos casos los márgenes utilizados en la simulación de cargas o en el comportamiento de los materiales.
- **Mejora de los modelos de cálculo:** las presas antiguas se diseñaron por métodos empíricos de cálculo o modelos analíticos, utilizando factores de seguridad globales. Hoy en día se dispone de herramientas que permiten ser más precisos a la hora de aplicar factores de seguridad, que en algunos casos pueden permitir un aumento de carga en la estructura, como puede ser la subida del nivel máximo de operación o el recrecido de la presa.

El recrecido de una presa se puede justificar por varias razones:

- Compensar el asentamiento de la presa cuando es mayor que el estimado, o dotar a la presa de más resguardo.
- Permitir un almacenamiento temporal durante avenidas poco frecuentes.
- Aumentar la capacidad de embalse para cualquier uso.
- Aumentar la altura manométrica para conseguir más salto bruto en una central hidroeléctrica.
- Compensar la pérdida de capacidad de embalse por sedimentación.

4.3. Métodos para la limpieza de sedimentos

La gestión de sedimentos también fue tratada en el congreso de ICOLD de Brasilia celebrado en 2009, concretamente en la cuestión Q89. En el informe general se puede encontrar un análisis detallado de todos los medios disponibles a día de hoy para gestionar los sedimentos. Aquí se trató más a fondo el tema de presas existentes y como optimizar la gestión de sedimentos.

Las prácticas más aceptadas a día de hoy para ríos con alta carga de sedimentos deben adaptarse a cada caso particular. Algunas de ellas se resumen a continuación:

- Limitar la erosión en el valle potenciando la agricultura y seleccionando adecuadamente los cultivos.
- Evitar que los sedimentos lleguen al embalse. Una opción es hacer una toma en el río principal que lleve el agua a un embalse situado en un tributario, permitiendo que los sedimentos sigan circulando por el río principal. Otra opción es construir un canal o túnel de desvío que traslade los sedimentos desde la cabecera del embalse hasta aguas abajo de la presa. Por último están las trampas de sedimentos en cabecera de embalse, que requieren una limpieza periódica.
- Si se dispone de tomas bajas o intermedias con gran capacidad, se puede bajar el nivel de embalse y permitir que en la época de avenidas circulen río abajo o incluso hacer limpiezas de los sedimentos acumulados en el resto del año.
- Por último está el dragado, que aunque costoso puede ser una buena solución en embalses donde la acumulación de sedimento se produce tras largos períodos de tiempo.

En presas existentes el tema es más complicado, sobre todo si no disponen de compuertas o si están tan aterradas que no funcionan. En estos casos la solución se basa en la combinación de varias medidas cuidadosamente planificadas.

4.4. Desmantelamiento de presas

La puesta fuera de servicio de una presa se justifica cuando las desventajas son mayores que las ventajas.

De este tema se remitieron pocas ponencias, pero a continuación se resumen tres ejemplos:

- Una presa tan afectada por la reacción álcali-árido que el coste de reparación era mayor que el de construcción de

una nueva presa, por lo que se desmanteló la antigua y se construyó una nueva.

- Otro caso es el de una presa construida hace más de 50 años y que siempre estuvo limitada por el riesgo de desprendimientos de ladera, por lo que nunca se llenó. Después de realizar muchos estudios se decidió demoler la presa hasta un determinado nivel para garantizar la seguridad a largo plazo.

- Por último una presa diseñada hace 50 años para abastecimiento de agua potable y que ya no era necesaria, por lo que para evitar los altos costes de mantenimiento y modernización fue demolida.

4.5. Mejora del sistema de auscultación

La mejora del sistema de auscultación de una presa preserva la capacidad de controlar el comportamiento de la presa, y por tanto asegurar la seguridad y funcionalidad a largo plazo. Las razones que llevan a plantearse esta mejora pueden ser el envejecimiento de los equipos, adaptar equipos a las necesidades de auscultación o cambios de normativa la automatización.

El principal problema para que estos proyectos salgan adelante es que son costosos y no generan beneficio directo en la operación de la presa o del recurso.

La seguridad de presas se basa en tres pilares fundamentales, como explica el boletín 138 del ICOLD:

- a) Diseño estructural de la presa, realizado acorde a las normas y métodos de inspección vigentes.
- b) Chequeo permanente y regular de la presa, para comprobar que la estructura se comporta como estaba planificado y para identificar anomalías.
- c) Gestión del riesgo residual, a través de la implantación de un plan de emergencia y un sistema de aviso a población

No hay un número determinado de instrumentos de auscultación, ya que depende del tipo de presa, de sus dimensiones, la manera en la que se construyó, su edad y las condiciones específicas del emplazamiento, en especial la cimentación.

4.6. Trabajos de Rehabilitación para cumplir con estándares o aumentar la seguridad

Las Autoridades deben fijar las reglas que rijan la seguridad y la auscultación de las presas. ICOLD representa un soporte

importante para los profesionales dedicados a la gestión de presas de cara a homogeneizar criterios y compartir experiencias internacionales en la materia.

En algunos casos, los sistemas de auscultación o incluso elementos de la presa deben ser modificados por requerimientos de nuevas normativas.

5. Conclusiones

De todas las presentaciones y del informe general se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- La mejora de las presas existentes es un tema de interés en todos los países desarrollados, donde la mayoría de las presas tienen muchos años de vida y el uso para el que fueron concebidas puede haber sufrido modificaciones relevantes. Esta mejora es necesaria para que sigan siendo útiles para la sociedad.
- El cambio climático está alterando los regímenes de los ríos en todo el mundo, por lo que la filosofía de explotación de las presas va a cambiar en los próximos años y las medidas de protección frente a situaciones extraordinarias deben ser reevaluadas.
- La gestión de sedimentos es un problema muy relevante en otras partes del mundo, y en algunos casos como Asia o Latinoamérica condicionan el diseño de la presa.
- La innovación tecnológica ha hecho que aparezcan nuevas técnicas de auscultación automáticas con muchas posibilidades y mejores sistemas de predicción de precipitaciones que permiten anticiparse a los eventos extremos minimizando los posibles daños ocasionados.
- La optimización de los embalses es también un tema relevante tratado en este congreso, buscando el máximo rendimiento de la infraestructura pero garantizando un adecuado nivel de seguridad. Sobre todo en países donde la construcción de nuevos embalses es residual. **ROP**



Presas y sostenibilidad



Antonio Burgueño Muñoz

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Director de Calidad y RSC de FCC Construcción, S.A.

Resumen

La sostenibilidad supone el equilibrio entre las componentes ambiental, social y económica. La traducción de este principio a las presas y embalses requiere de una reflexión y de un análisis que permita identificar el contenido de esos pilares y de su interacción, de modo que en el proceso de planificación puedan ser tenidos en cuenta y sean adecuadamente considerados. Este artículo recoge el trabajo desarrollado en este sentido por los expertos del Comité de Actividades del ingeniero en planificación de recursos hidráulicos del Comité Nacional de Grandes Presas.

Palabras clave

Sostenibilidad, planificación, medio ambiente, sociedad, economía, equilibrio, desarrollo, explotación, rehabilitación, renovación

Abstract

Sustainability implies equilibrium between environmental, social and economic factors. The application of this principle to dams and reservoirs requires due reflection and analysis that serves to establish the importance of each of these factors and their interaction so that these may be suitably taken into account and considered during the planning process. This article describes the work carried out in this regard by the Technical Committee on "Engineering Activities in Water Resource Planning" under the auspices of the National Committee on Large Dams (Spancold).

Keywords

Sustainability, planning, environment, society, economics, equilibrium, development, exploitation, rehabilitation, renovation

Antecedentes

El Comité de Actividades del Ingeniero en Planificación de Recursos Hidráulicos del Comité Nacional de Grandes Presas se planteó, en 2013, elaborar un documento que abordase las grandes cuestiones sobre embalses y planificación hidrológica. Documento que, desde el primer momento, enfocó su planteamiento hacia una perspectiva de sostenibilidad como premisa básica para garantizar que sus conclusiones tuvieran validez suficiente. De este modo, los miembros del Comité (a quienes no es posible no citar, ni dejar de agradecer el trabajo desarrollado: Rosa Arce Ruiz, Víctor Arqued Esquíá, Teodoro Estrela Monreal, Ángel García Cantón, Ángel Jaramillo Gómez, Lucía Monforte Guillot, Tomás Sancho Marco, Guido Schmidt) comenzamos a escribir un borrador básico recopilando las principales ideas y trazando un esquema de contenidos que debían ser recogidos en el documento final. Pero surgió, con esta iniciativa, la idea de completar el documento con las aportaciones de otras partes interesadas que incorporasen sus perspectivas al resultado final. Y así se

decidió realizar un ciclo de jornadas sobre la sostenibilidad de presas y embalses que trajesen a figuras relevantes en los campos de la economía, la sociedad y el medio ambiente relacionados con las presas, que expusiesen sus puntos de vista, que aportasen su experiencia y su ciencia, y completar el documento con estas sus aportaciones. De este modo, se celebraron, en abril de 2013 una jornada sobre sostenibilidad económica de las presas, en mayo de 2014 otra sobre la sostenibilidad ambiental y una tercera, en junio de 2015, sobre la sostenibilidad social de las presas y embalses.

Fruto de cada una de estas jornadas y de las ponencias de los expertos que las protagonizaron, surgió la versión final del documento 'Embalses Y Planificación Hidrológica: Grandes Cuestiones', del que este artículo es prácticamente reseña, que incorporó las conclusiones de gran parte de las conferencias impartidas a lo largo de las mismas. Este documento es posible encontrarlo en la página web del Comité Nacional Español de Grandes Presas, disponible para su descarga.



Presa de Alange (Badajoz)

Introducción

La sostenibilidad en nuestra gestión del agua resulta una base para la supervivencia, ya que el agua constituye un elemento vital para el hombre y los ecosistemas, y es preciso garantizar unas condiciones adecuadas de calidad y cantidad. La correcta definición y control de la demanda debe ser un elemento prioritario y cualquier actuación en el área de los recursos hídricos y en concreto la construcción de embalses, ha de llevar consigo la consideración de todos sus efectos tanto ambientales, como sociales y económicos analizados en el marco de la planificación hidrológica de cuenca, tal y como se recoge en la Directiva Marco del Agua (DMA). Planteamiento que fue adoptado en España desde la creación de las confederaciones hidrográficas durante los años 20 y 30 del siglo pasado.

El agua y las crisis globales recientes

El agua está tomando una indudable relevancia en la actualidad en la agenda política de los más altos mandatarios e instituciones, debido a su papel determinante en determinadas crisis y problemas recientemente aparecidos y candentes.

Un problema como la crisis alimentaria hace que cobren una especial importancia planteamientos como la huella hídrica. Los estudios muestran un elevado consumo de agua verde, la mayor parte debida a los alimentos y a otros productos agrícolas, así como que, del total del agua consumida por los países, el 19 % se destina al comercio internacional.

Por otro lado, tenemos la crisis energética. Se prevé que la generación hidroeléctrica, junto con otras fuentes de energía renovable se incremente un 60 % entre los años 2000 y 2030, generación esta que puede producir un gran impacto sobre los recursos hídricos.

Recién concluido el COP21, es ineludible hablar del cambio climático y los desastres naturales. El cambio climático acentúa todos los problemas expuestos y, además, incrementa notablemente el riesgo de los daños asociados a las avenidas y las sequías, poniendo en peligro el progreso y desarrollo económico alcanzado. Será necesaria, por tanto, una gran labor en materia de adaptación.

Finalmente, la presión sobre el medio ambiente (por *stress* hídrico) constituye un factor determinante en la gestión del agua. La actividad humana se ha convertido en un agente primario de generación de presiones que afectan a los sistemas de agua de nuestro planeta. Presiones que son resultado a su vez de 5 grupos de agentes externos: demográficos, económicos, tecnológicos, sociales y de gobierno, y que se ven acentuados por el cambio climático.

Aspectos técnicos

Entre los aspectos técnicos de mayor relevancia, deben considerarse:



Presa de Cubilar



Fumadinha

a) Gestión integrada de recursos hídricos: la práctica de tomar decisiones y llevar a cabo acciones considerando múltiples puntos de vista sobre cómo gestionar el agua. Lo cual debe estar de acuerdo con la DMA.

b) Gestión de eventos extremos: sequías e inundaciones. Ambos factores, que son importantes y condicionan el desarrollo humano, pueden verse incrementados por los efectos del cambio climático, que suponen una presión adicional en las áreas con mayor stress hídrico. El papel de las presas y embalses es clave si se quieren aumentar las disponibilidades hídricas en particular en los territorios europeos, pero también lo es en el análisis de su impacto sobre el medio ambiente y sobre los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados. Las inundaciones son un fenómeno natural extremo que puede provocar grandes catástrofes en todo el mundo, a la vez que renueva los ecosistemas, actuando como controlador de la biodiversidad. La política actual sobre la gestión de las inundaciones en la Unión Europea se recoge en la Directiva Europea sobre inundaciones.

c) Gestión de riesgos e incertidumbres: principios de prevención y precaución. Las políticas ambientales están presididas por el principio de prevención, es decir, afrontar los costes de evitar la contaminación o la degradación ambiental, actuar ex ante, para limitar los daños sobre el medio ambiente. El Principio de precaución es el enfoque que permite integrar en la evaluación y gestión de riesgos aquellas incertidumbres más profundas. La Convención Marco de Cambio climático de Naciones Unidas recomienda su inclusión en la toma de decisiones. Resulta, en este sentido, de especial importancia la estimación de riesgos relativos a la propia seguridad de la presa.

d) Investigación, desarrollo e innovación. Se trata de un enfoque, de una forma de hacer. Respecto a las presas y embalses en el marco de la planificación hidrológica, cabe mencionar las siguientes líneas de investigación desarrollo e Innovación: Evaluación de riesgos en presas y embalses, el papel de las presas en los sistemas de alerta y previsión de crecidas, análisis del posible efecto barrera a la migración de especies piscícolas, el análisis de la retención de sedimentos en los embalses y sus impactos en el propio río, en las aguas costeras y de transición, la proliferación de especies invasoras, el efecto de las presas sobre el estado hidromorfológico y ecológico de las masas de agua, la adaptación a las normativas de seguridad, la recuperación de los costes de las actuaciones, etc.

Aspectos económicos

Los embalses desempeñan un importante papel en la actividad económica española

Como consecuencia de la infraestructura de regulación construida en España durante el siglo XX, especialmente en su segunda mitad, se ha producido un apreciable incremento de los volúmenes aprovechables, que se situaran ahora en torno al 36 % de las aportaciones naturales frente al 7 % anterior.

Este cambio ha favorecido evidentemente el desarrollo de la actividad económica del país.

Hay dos aspectos de especial consideración al abordar la componente económica de la sostenibilidad de presas y embalses. Por una parte, pensar en el agua para el desarrollo: la economía influye en la planificación y gestión del agua en la medida en que se convierte en un recurso escaso que requiere inversiones para su puesta a disposición de los usuarios y para la preservación de la calidad. Por otra parte, la eficiencia en el uso del agua: la necesidad de abastecimiento y saneamiento todavía necesitan grandes inversiones para satisfacerlas. Es esencial en el análisis de estas inversiones no limitarse a los beneficios directos, sino que es imprescindible, en los países en desarrollo, internalizar como beneficios los daños evitados especialmente por cuestiones sociales y de salud.

Aspectos sociales

Quizá uno de los aspectos más importantes pero más difíciles de considerar y con los que resulta más difícil lidiar es el de los impactos sociales de un embalse.

La construcción de una presa, el embalse asociado, los cambios que ello supone en la estructura del territorio, la modificación, en fin, del entorno de una manera tan significativa, tiene impactos importantes también sobre la sociedad.

Los impactos positivos, como el propio desarrollo que supone la aparición del embalse, con satisfacción de necesidades energéticas, cuando lo acompaña, o el abastecimiento de agua, o el riego para producción agrícola, el control de avenidas, la aparición de recursos de ocio y recreo, etc.

Pero existen impactos negativos como el desplazamiento de población, muchas veces particularmente vulnerable, de recursos limitados o características culturales específicas (indígenas).

Por otra parte, es preciso considerar la solidaridad y la equidad cuando pensamos en la gestión del agua, en la construcción de presas y embalses. El agua es un recurso vital, sin embargo, su disponibilidad se ve limitada, tanto por su escasez, como por su distribución poco uniforme. Uno de los mas importantes objetivos de Desarrollo del Milenio de la ONU es precisamente el de asegurar el abastecimiento de agua de calidad para todas las personas del planeta.

La equidad, como principio general en la planificación hidrológica puede interpretarse en su acepción territorial o desde la vertiente de los usuarios.

Respecto a la participación pública, en el ámbito internacional, su concepción actual en materia de medio ambiente surge y se generaliza con la Declaración de Río de Janeiro de 1992 y, posteriormente, en el Convenio de Aarhus de 1998.

En Europa, la DMA ha supuesto avances importantes en relación a la participación pública, asegurando ésta en la planificación hidrológica mediante la información pública y la consulta pública y fomentando la participación activa de todas las partes interesadas.

En España, la ley 27/2006, de 18 de julio, amplía la esfera de participación pública a todos los interesados y no solo a los usuarios.

Finalmente, transparencia. Transparencia como un valor ineludible en la gestión social de los embalses. Tradicionalmente, los principios de la participación pública son: 1) transparencia de información y establecimiento de canales de comunicación;

2) mejora del conocimiento sobre las necesidades, puntos de vista y percepciones de las partes interesadas y afectadas; 3) promoción de la gobernanza y la corresponsabilidad en la definición de políticas de agua; 4) alcanzar consensos y soluciones satisfactorias, resolviendo los posibles conflictos y 5) educar y sensibilizar a la ciudadanía sobre los temas relacionados con la gestión del agua.

Aspectos ambientales

Acaso sean estos los aspectos más estudiados y tratados en la literatura de la sostenibilidad de las presas y embalses. Hasta el punto de que, en muchas ocasiones, se ha quedado este pilar prácticamente solo, confundiendo gestión ambiental con desarrollo sostenible y hablando únicamente de medio ambiente, sin considerar el necesario equilibrio con las componentes social y económica. Así, se habla del mantenimiento de los ecosistemas, perfectamente regulado (no confundir con perfectamente llevado a cabo: es un tema con muy abundante literatura y reglamentación en el que seguimos fallando con excesiva frecuencia). Nuestro actual ordenamiento reconoce como de interés general prioritario aquellos temas que se listan en el capítulo III del título I de la Constitución, entre los que se cita expresamente la defensa y restauración del medio ambiente (artículo 45).

También los caudales ecológicos desempeñan una función relevante en este campo. El régimen de caudales juega un papel primordial en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos.

La Ley del Plan Hidrológico Nacional y la Ley de Aguas establecen que los regímenes de caudales ecológicos son una restricción previa que se impone en los sistemas de explotación al aprovechamiento para fines socioeconómicos.



Ribeira do Ermida

En cuanto al cambio climático, este puede suponer una reducción significativa de los recursos hídricos, especialmente en los territorios más vulnerables. Presas y embalses pueden jugar un importante papel en la adaptación a dicho escenario, lo que nos obliga a estudiar en profundidad esta reducción.

Finalmente, se toma en consideración la continuidad del medio fluvial, en relación con la construcción de presas. Los embalses suponen barreras, en muchos casos absolutas, a la continuidad de los ríos. Siempre se debería plantear la habilitación de medidas compensatorias a este efecto, sobre los caudales, sobre los sedimentos y sobre la biota.

Conclusión

Son múltiples los factores que deben ser considerados a la hora de procurar la sostenibilidad de las presas y embalses, tanto los existentes como los futuros. En este artículo se ha hecho un somero repaso de algunos de ellos, sin que sea posible más que dar una breve y rápida visión de por dónde

deberían enfocarse una correcta evaluación y toma de decisiones en esta materia. Pero, en definitiva, debemos considerar que el concepto de sostenibilidad, como equilibrio entre las componentes social, ambiental y económica, es un concepto vivo por definición, pues, en una realidad cambiante, el equilibrio se halla en cada momento en un punto distinto, y será preciso reforzar en mayor medida los aspectos más débiles a fin de ser capaces de encontrar una verdadera situación de estabilidad. Equilibrio que, además, es necesario revisar con cierta frecuencia, pues los cambios alteran la situación de partida, y las soluciones que ayer valieron hoy podrían no resultarnos útiles.

Las presas y embalses constituyen un pilar básico para el desarrollo sostenible, y una adecuada consideración de su intrínseca sostenibilidad, adoptando las medidas necesarias en cada caso, tras un apropiado estudio de necesidades globales, será la que nos permita maximizar la aportación que los embalses hagan a dicho desarrollo sostenible. **ROP**



Alcollarín



*Construcción del Tercer
Juego de Esclusas del
Canal de Panamá*

Porque creemos que la innovación
es la única manera de ser competitivos.

Porque creemos que el único mercado
es el mundo entero.

Síguenos en



www.sacyr.com

Sacyr
30 años



ABRIMOS NUEVOS CAMINOS

Nueva página web, banca electrónica y app.

En Banco Caminos trabajamos cada día para ofrecer el mejor servicio a nuestros clientes y facilitar su operativa bancaria. Basándonos en estas premisas y siguiendo nuestro camino de mejora continua, estrenamos:



Nueva página web www.bancocaminos.es

Mantenemos el nombre del dominio, cambiamos todo lo demás: **nuevo diseño, más accesible, más intuitiva y más cómoda**. Adaptable a cualquier dispositivo (ordenador, *tablet* y *smartphone*) para que la navegación sea lo más satisfactoria posible.



Nueva banca electrónica www.lineacaminos.com

Diseño renovado y **nuevos servicios** para hacer más fácil la operativa: **contratación de nuevos productos; depósitos, valores, planes de pensiones, fondos de inversión...** iremos incluyendo nuevas funcionalidades para seguir ofreciendo el mejor servicio.



Nueva app **CaminosOnTime**

Hemos mejorado CaminosOnTime integrando toda la operativa de Lineacaminos. Ahora nuestros clientes **podrán realizar cualquier operación desde su *smartphone* y *tablet***, y visualizar sus movimientos en cuentas y tarjetas, estén donde estén.



Escríbenos
info@bancocaminos.es



Llámanos
91 319 34 48



Visítanos
C/ Almagro, 8 y 42, 28010 Madrid
Vía Augusta, 153, 08021 Barcelona