

Juan Carlos de Cea Azañedo. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
 Secretario General del Comité Nacional Español de Grandes Presas. Madrid (España). secretariogeneral@spancold.es

Resumen: Se describe en este artículo la importancia que para la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD) ha tenido y tiene actualmente la Seguridad de las presas en términos generales. Complementariamente, se analiza cómo se ha desarrollado la cuestión nº 83 del Congreso Internacional de Grandes Presas de Kyoto, en las diferentes sesiones en las que se ha dividido, y cuales han sido las principales conclusiones alcanzadas tras las exposiciones efectuadas por parte de los ponentes seleccionados para presentar sus artículos en ella, gran parte de las cuales se encuentran convenientemente detalladas en el Informe del Relator General de la misma.

Palabras Clave: Seguridad; Determinismo; Riesgo; Gestión; Seguimiento; Instrumentación; Emergencia; Explotación; Reglamentación; Refuerzo de habilidades; Regulador

Abstract: The paper describes the importance that for the International Commission on Large Dams (ICOLD) has had and have Dam Safety, in general terms. Additionally the paper analyzes how it has developed Question Nº. 83 of the International Congress on Large Dams in the different sessions in which has been divided, and what have been the main conclusions reached after the presentations made by the speakers selected to present their works, many of them very well detailed in the General Report.

Keywords: Safety; Deterministic; Risk; Management; Surveillance; Monitoring; Emergency; Operation; Regulation; Building capacity; Regulator

1. Introducción

El tema de la Seguridad, abordado desde distintas ópticas, se ha elegido en las últimas tres décadas en un total de once ocasiones para ser tratado en otros tantos Congresos de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD). El título de las correspondientes cuestiones y los congresos en que se analizaron en las diez ocasiones anteriores, son los siguientes:

Q32: *La Seguridad de las presas desde el punto de vista de la cimentación y seguridad de las laderas del vaso.* Año 1967. Congreso de Estambul (Turquía).

Q49: *Deterioro o rotura de presas.* Año 1979. Congreso de Nueva Delhi (India).

Q52: *Seguridad de Presas en Explotación.* Año 1982. Congreso de Río de Janeiro (Brasil).

Q59: *Rehabilitación de presas para asegurar su seguridad.* Año 1985. Congreso de Lausana (Suiza).

Q65: *Envejecimiento de presas.* Año 1991. Congreso de Viena (Austria).

Q68: *Evaluación de la seguridad y mejora de presas existentes.* Año 1994. Congreso de Durban (Sudáfrica).

Q75: *Incidentes y roturas de presas.* Año 1997. Congreso de Florencia (Italia).

Q76: *El uso del análisis de riesgos para apoyar decisiones en materia de seguridad.* Año 2000. Congreso de Beijing (China).

Q86: *Seguridad de presas de tierra y escollera.* Año 2006. Congreso de Barcelona (España).

Q91: *Gestión de la seguridad de presas.* Año 2009. Congreso de Brasilia (Brasil).

Como consecuencia de las discusiones mantenidas en el Congreso de Nueva Delhi en el año 1979, ICOLD creó el Comité Técnico sobre Seguridad de Presas, al que encomendó la misión de desarrollar una nueva filosofía sobre la seguridad de las presas a la que, obligatoriamente, debían ajustarse de manera integral el resto de Comités Técnicos. Los trabajos de dicho comité concluyeron con el desarrollo de un bo-



Tabla 1

Núm. Boletín	Título	Año
59	Seguridad de Presas	1987
99	Roturas de Presas. Análisis estadístico	1995
109	Presas de menos de 30 m de altura. Ahorro de costes y mejoras de su seguridad	1998
130	Evaluación de riesgos en la gestión de la seguridad de presas	2005
E02	Medidas no estructurales de reducción de riesgos	2010

letín, el número 59, que se publicó en el año 1987, en el que se incluían los criterios generales que debían gobernar la seguridad de las presas, la filosofía y metodología de dicha seguridad, la forma de gestionarla, y la forma de evaluarla. Una de las principales conclusiones que puede extraerse de la lectura del mismo es que *la seguridad debe tener prioridad por encima de cualquier otra consideración* (1).

Es por lo tanto la seguridad en sentido amplio una de las mayores preocupaciones de ICOLD, tal como demuestra el elevado número de boletines redactados hasta la fecha en los que se ha tratado el tema (Tabla 1), y de veces que en relación con otros se ha incluido como aspecto a discutir en los Congresos.

La elección de nuevo de la seguridad como aspecto a ser discutido en el marco de la Cuestión nº 93 del 24º Congreso Internacional de Grandes Presas vuelve a demostrar la importancia que ese tema sigue teniendo a nivel mundial y su complejidad para ser abordado de forma integral y uniforme en todos los países, sean miembros o no de ICOLD.

En el lenguaje corriente se entiende normalmente que algo es seguro cuando no tiene posibilidad de fallar. En sistemas más complejos y regulados, como son las presas, por seguro se entiende normalmente aquello que formalmente cumple todos los requisitos reglamentarios. Esta situación habitualmente se conoce cómo *enfoque tradicional de la seguridad o enfoque basado en el cumplimiento de normas*. En dicho enfoque, la evaluación de la seguridad se basa en el grado de cumplimiento de unas reglas y unos requisitos definidos de antemano, con la idea de que ese proceso resulte en unos niveles de riesgo muy bajos, pero desconocidos. Y frente a las conocidas dificultades existentes usando dicho enfoque para responder a las preguntas ¿son suficientemente seguras las presas? o ¿cuánto de segura es una presa considerada como segura?, parece haber, sin embargo, un consenso casi generalizado

en que la gestión de la seguridad basada en la gestión de los riesgos es la mejor forma de dar respuesta a tales preguntas, permitiendo, además, ayudar a tomar decisiones en materia de seguridad y de necesidades de inversión de forma muy transparente y tratando adecuadamente las incertidumbres de todo tipo, posiblemente una de sus mayores ventajas.

Esa gestión se basa en la gestión de los riesgos que sobre las personas, propiedades y medio ambiente puede tener el impacto de la rotura o el funcionamiento incorrecto de una presa, y dado que la ausencia de esos riesgos, por pequeños que sean, es un concepto irreal y absolutamente antieconómico –es decir, la seguridad absoluta no existe- lo que se intenta es que aquéllos sean tan bajos como sea posible, o tan bajos como sea razonablemente o prácticamente posible. Es por ello por lo que Bowles (2) establece que en la gestión de la seguridad basada en la gestión del riesgo, la definición legal de cuál es ese *riesgo tolerable por parte de la sociedad* es de la mayor importancia.

2. Estructura de la Cuestión

La Cuestión 93 estuvo presidida por D. Alain Carrere, del Comité Francés de Grandes Presas, vicepresidida por D. Alejandro Pujol, del Comité Argentino de Grandes Presas, siendo secretario de la misma D. Yoshikazu Yamaguchi, del Comité Japonés de Grandes Presas. El Relator General de la cuestión fue D. Gerald Genz, del Comité Austríaco de Grandes Presas.

Se presentaron a ella un total de 44 artículos correspondientes a un total de 16 países. España fue el país más prolífico, seguido muy de cerca por Japón (Tabla 2).

Los cinco grandes temas a tratar en dicha cuestión eran los siguientes:



Tabla 2

Artículos presentados	Países
7	España
6	Japón
5	Francia
4	China y Sudáfrica
3	Suiza, Rumania y Rusia
2	Estados Unidos
1	Austria, República Checa, Indonesia, Mozambique, Sri Lanka, Suecia y Polonia

1. Accidentes/incidentes en presas y embalses
2. Riesgos asociados a aspectos humanos y organizativos de la explotación
3. Regulación, Guías y normas de buena práctica
4. Riesgos específicos de las presas pequeñas

5. Riesgos específicos en presas de residuos mineros, depósitos de sistemas reversibles, estructuras de todo tipo, etc., que a la vista de los artículos presentados y para el adecuado desarrollo de las distintas sesiones en que se dividió, se agruparon en los cuatro siguientes:

1. Accidentes/incidentes en presas
2. Seguridad Pública
3. Evaluación de riesgos y gestión de inversiones en seguridad
4. Legislación y sus efectos en la seguridad

De todos los artículos presentados a la Cuestión, se seleccionaron finalmente para ser expuestos y debatidos en los diferentes subtemas, un total de 16, que correspondían a 9 países (Tabla 3). Sólo uno fue presentado por españoles.

La idea perseguida con la elección de todos ellos fue la de lograr una sesión equilibrada entre los distintos subtemas tratados.

Tabla 3. Comunicaciones Seleccionadas

Nº	Ponente	Report	País	Título
Subtema 1: Accidentes/incidentes en presas				
1	P. Krivka	1	R. Checa	Dams Mlynice and Fojtka. Flood situation august 2010.
2	D. J. Hagen	18	Sudafrica	Leakage occurrence at earth dams, investigation and repair.
3	L. Duchesne	23	Francia	Internal erosion on dams and dikes
4	L. C. Hattingh	31	Sudafrica	Dam safety incidents ins Sudafrica during the past 100 years
Subtema 2: Seguridad Pública				
5	C. Seddon	3	Mozambique	Cause of failure of Massingir dam .
6	Jiabi Xie	38	China	Characteristics of breach parameters on embankment dams
7	Yanchang Gu	41	China	Study on early warning mode of reservoir emergencies
8	F. Mulyantary	16	Indonesia	Risk of small dams.
Subtema 3: Evaluación de riesgos y gestión de inversiones en seguridad				
9	I. Escuder	33	España	Use of risk models for evaluation of risk measures for dams.
10	Whan Shi-jun	37	China	Features of seismic hazard in reservoir dams by the Wenchuan earthquake.
11	Y. Tanaka	43	Japón	Development of portable simulator for dams operations.
12	J. Jaques Fry	-	Francia	Preventive maintenance and surveillance.
Subtema 4: Legislación y sus efectos en la seguridad				
13	G. Dabre	9	Suiza	Swiss legislation on the safety of dams.
14	Y. Yamaguchi	42	Japón	Safety inspections and seismic behaviour of dams Turing the 2011 off the pacific coast of Tohoku earthquake.
15	F. Lemperiere	-	Francia	Safety legislation can be detrimental to safety
16	P. Cochet	12	Francia	Préparation d'une reglementation sismique des barrages en france.

3. Seguridad

Actualmente se considera que el término seguridad está compuesto por la suma de tres conceptos básicos: seguridad estructural, mantenimiento y conservación y aviso a la población. Sin embargo, es cada vez más frecuente añadir a los tres anteriores, otros dos más: seguridad hidrológico-hidráulica y seguridad medioambiental.

3.1. Seguridad estructural

Para lograr el adecuado diseño del cuerpo de una presa, la mayor parte de los países disponen de unas reglamentaciones prácticas bien desarrolladas y basadas, fundamentalmente, en su experiencia y/o en la de otros, sean de su entorno o no. Es lo que se ha dado en llamar reglas o normas de buena práctica o "estado del arte".

Pero además ese diseño debe completarse y complementarse con el *juicio ingenieril* de la información proveniente de la topografía, geología, geotecnica y sismicidad de la zona en la que está ubicado el emplazamiento, y de las precipitaciones y caudales fluyentes por la red fluvial cerrada por la futura presa.

Una vez finalizado ese diseño preliminar debería comprobarse en qué medida el comportamiento previsto de la presa se ajusta al de otras en explotación de dimensiones parecidas situadas sobre terrenos de similares características, lo que normalmente conocemos como *análisis del precedente*.

En algunos países el proceso terminaría una vez expuesto el diseño realizado a la crítica de un grupo de expertos independientes, un *board*, para que lo validen o propongan las modificaciones que estimen necesarias. Al *board* se le debe exponer el porqué de las decisiones tomadas; cuáles han sido las hipótesis de partida efectuadas y cómo se han resuelto todos y cada uno de los problemas que se hayan ido presentando durante la redacción del proyecto.

Todo lo anterior es una parte, una pieza más, de las muchas de que se compone la seguridad estructural. El adecuado seguimiento de la obra por parte de otro *board* independiente elegido por el propietario de la obra, y de que los estándares de calidad fijados en el proyecto se cumplen, son otros dos aspectos básicos para la seguridad.

Una vez superada la puesta en carga de la presa y vigilada la explotación de forma pormenorizada, la



Fig.1.

comparación del comportamiento observado con el previsto en el proyecto, debería retroalimentar todo el proceso, ayudando a transferir mejor el conocimiento adquirido, y a mejorar la educación de los futuros técnicos en la materia y los futuros diseños de las presas (Figura 1) y, aunque no se contempla en el esquema que se muestra en la figura, debería servir también para la correcta depuración de las responsabilidades en el caso de que el comportamiento no se haya ajustado a lo proyectado y/o se haya alejado notablemente de éste.

En este sentido los modelos numéricos cumplen desde hace años ese objetivo de comparación. ICOLD se preocupa desde hace años de ellos, como lo prueba el hecho de haber publicado recientemente el boletín de título: *Guía para el uso de modelos numéricos en ingeniería de presas*, que está basado, fundamentalmente, en los benchmark Workshops llevados a cabo por el Comité de Cálculo de Presas, los cuales persiguen ayudar a entender y a interpretar mejor el comportamiento de presas en explotación y a valorar mejor su seguridad.

3.2. Evaluación de riesgos

Aunque el diseño se haya efectuado de acuerdo con el estado del arte, tal y como se ha comentado anteriormente, siempre existirá en la práctica un cierto riesgo residual, desconocido, cuyo origen está en la existencia de las numerosas incertidumbres de todo tipo que intervienen en el proceso de diseño, construcción y explotación: posibilidad de haber subestimado los caudales entrantes en el embalse, defectos de todo tipo no observados en el cimiento, alteraciones de tipo estructural, negligencias en la operación y manejo de avenidas, etc.



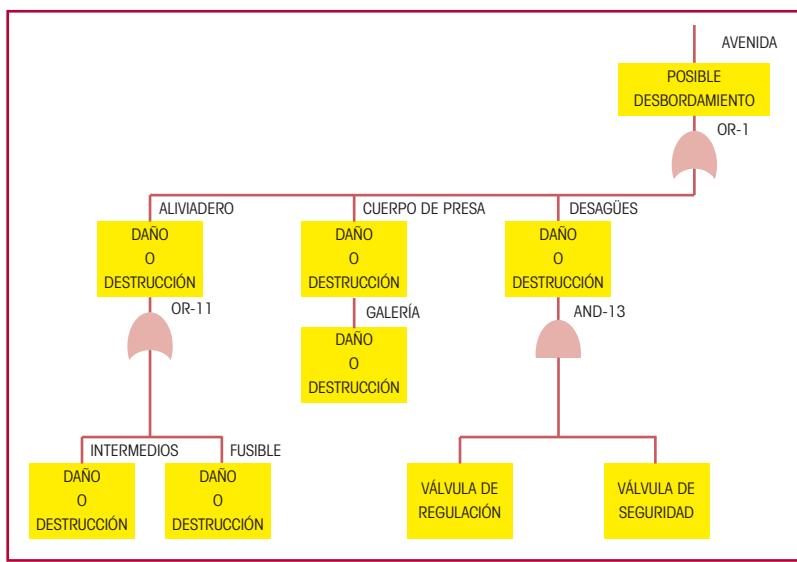


Fig.2.

Actualmente este inconveniente está superado con la elaboración de árboles de eventos o de fallo (Figura 2) a través de los cuales, y por procedimientos estadísticos, es posible calcular la probabilidad de fallo y/o de rotura de la presa ante muy diversos escenarios, por complejos que éstos sean, y compararlos entre sí de forma homogénea.

Pero es que además actualmente en muchos países se emplea este mismo sistema, junto con un análisis coste-beneficio, por supuesto, para examinar las necesidades de inversión en materia de seguridad¹, para saber dónde es preciso invertir y para garantizarle a la sociedad que el dinero se invierte adecuadamente donde verdaderamente es preciso y hace falta. Es decir, permite dar respuesta a las preguntas: ¿cuanto cuesta la seguridad en presas? y ¿vale más la pena invertir en esto o en aquello?

3.3. Seguridad pública

Se define así a la componente consecuencias producidas durante un régimen normal de explotación. Es decir, la afección a personas y bienes situados tanto agua abajo como aguas arriba de la presa por un cambio repentino del nivel de las aguas en las márgenes del embalse, tomas, aliviaderos, cuencos, cauces próximos a éstos, etc. Se excluyen por lo tanto de esta componente las pér-

(1) Este es el método que recomienda utilizar la actual Directiva Europea frente a inundaciones.

didas/daños consecuencia de un accidente o rotura de la presa.

En algunos países, en los últimos años, el fácil acceso a las presas, incluso a las situadas a cotas más elevadas o más alejadas de los núcleos urbanos, empleando ciertos medios de transporte, y la proliferación en ellas de algunos deportes considerados equivocadamente de alto riesgo cuando son los que los practican erróneamente los que verdaderamente arriesgan sus vidas, han hecho que aumenten significativamente los accidentes y las pérdidas de vidas humanas por el desarrollo de estas actuaciones, irrationales por otra parte. El conocido canal Youtube incluye actualmente numerosos ejemplos de lo que se comenta: motos subiendo por rápidas de aliviaderos de mucha pendiente, uso de éstas durante vertidos como toboganes, saltos desde alturas muy elevadas a cuencos, a veces parcialmente llenos de agua, etc.

Es por ello que algunos miembros del Club Europeo de ICOLD sugirieron a esta organización crear un Comité Técnico dedicado en exclusiva a esta materia, para que todos los países miembros de dicho Comité Técnico intercambiaran experiencias con el objetivo último de frenar/reducir la proliferación de irresponsables utilizando las presas y sus estructuras auxiliares para el desarrollo de actividades inadecuadas. Comenzó su trabajo el pasado año y ya están preparando un estado del arte de la cuestión que concluirá con la redacción de un boletín (véase a este respecto el artículo "La 80ª Reunión Ejecutiva Anual de ICOLD y el XXIV Congreso Internacional de Grandes Presas" en este mismo número).

Pero hay un segundo aspecto que ese Comité planea estudiar en un futuro próximo: la vulnerabilidad de las presas y sus estructuras y/o elementos auxiliares ante acciones terroristas, sabotajes, o acciones antrópicas o malevolentes.

Un proyecto Europeo llamado DAMSE (3) estableció un sistema de clasificación de la vulnerabilidad de las presas (Riesgo Alto, Medio o Bajo) por acciones antrópicas, atendiendo a su mayor o menor accesibilidad por parte del público en general y a las consecuencias derivadas del fallo, divididas éstas en económicas (severidad de los daños comerciales asociados, daños en otras infraestructuras, impacto en la economía local y regional) y medio ambientales.

Existen actualmente algunos sistemas similares al anterior, basados en la puntuación de una serie de aspectos básicos (screening), a través de los cuales es posible efectuar un análisis preliminar de la vulnerabilidad potencial de las presas, en función de la pérdida de la función para la que se diseñaron y de las consecuencias asociadas.

Un sistema complementario al anterior, y posterior a éste, sería la elaboración en las presas clasificadas como más vulnerables de *árboles de fallo*, a través de los cuales se podrían identificar qué componentes de la presa y/o de sus estructuras auxiliares son los más vulnerables y de qué forma lógica se produciría la cadena de sucesos que como consecuencia daría lugar a un fallo por acciones antrópicas o malevolentes.

3.4. Gestión de riesgos

Bajo esa denominación se incluye la investigación de todos los riesgos posibles y la posterior delineación de los correspondientes mapas de riesgos, que junto con las características de presa e instalaciones permitirá luego llevar a cabo una evaluación de los mismos más efectiva, lo cual redundará en la realización de unos planes de actuación más fiables y reales mediante la puesta en práctica de medidas estructurales y no estructurales.

Actualmente en la mayor parte de los países desarrollados la mejor gestión de las situaciones de riesgo se efectúa mediante la gestión de las comunicaciones, el entrenamiento continuo del personal y la información a la población potencialmente afectada situada aguas arriba o aguas abajo de la presa.

Si bien se podrían dar recomendaciones generales en este sentido, en Europa, por ejemplo, y a pesar de que el grado de desarrollo de casi todos los países incluidos en ella es cada vez más parecido, el proceso de implementación de posibles Directivas Europeas que contemplen cómo gestionar esos riesgos, es muy complicado, al chocar con sistemas organizativos del Estado muy diferentes, especialmente en materia de aguas y de seguridad de presas.

Pero es que además la opinión pública pesa cada vez más en las decisiones que se toman por parte de los Estados. La actitud de la población potencialmente afectada aguas abajo de las presas, su relación histórica y cultural con ellas, la percepción

del riesgo que suponen, su grado de sensibilización ante temas de seguridad, las medidas de preventión, etc, son aspectos cada vez a tener más en cuenta a la hora de tomar dichas decisiones.

3.5. Educación y fortalecimiento de habilidades²

Es bien sabido que la educación juega actualmente un papel fundamental en el desarrollo de todas las sociedades.

En el caso de la ingeniería de presas, esa educación abarca ya no sólo aspectos técnicos que podríamos llamar clásicos, sino que actualmente se complementa con otros procedentes de otras disciplinas pero que en las últimas décadas han entrado con mucha fuerza en ella y que, además, evolucionan con muchísima rapidez. Es el caso de las nuevas tecnologías: sistemas informáticos, expertos y de comunicaciones.

En los países en vías de desarrollo el elevado número de presas que van a encontrarse en construcción en las próximas dos décadas siguen haciendo en ellos muy atractiva la profesión que podríamos llamar clásica. Incluso es atractiva para estudiantes de otros países que están dispuestos a viajar una vez finalizados sus estudios, a cambiar de residencia por largos períodos de tiempo, a conocer otras culturas y otras formas de trabajo. Este tipo de técnicos dispondrán en los próximos años de una gran variedad de trabajos fuera de sus países de procedencia para llevar a cabo labores de proyecto, construcción y asesoramiento técnico a administraciones, consultoras, constructoras y propietarios de esas futuras presas.

El Plan Bolonia, en Europa, promueve esa movilidad geográfica de los alumnos durante la realización de sus estudios, permitiendo que pasen algunos semestres en otras universidades. Eso facilita un proceso natural de adaptación a las condiciones de trabajo en el exterior y fomenta que una vez terminados sus estudios no les sea extraño buscar trabajo fuera de las fronteras de sus países de origen.

En gran parte de los países más desarrollados, sin embargo, la construcción de presas es una actividad cada vez más marginal, motivo por el cual la ingeniería de presas clásica no goza del prestigio que

(2) Es la mejor traducción que hemos encontrado al término *Capacity Building*, muy usado en sus informes por el Banco Mundial, Naciones Unidas y multitud de ONGs para referirse a esa idea.



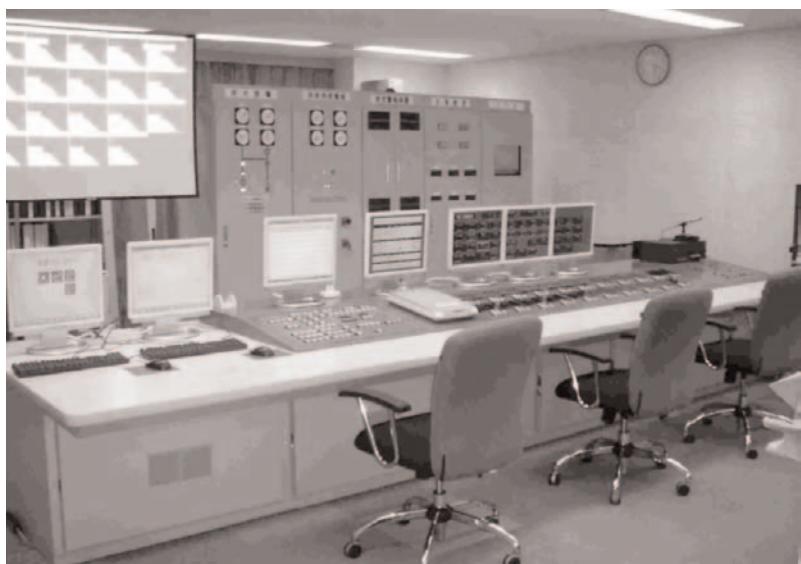


Fig. 3. Simulador instalado en el Centro de desarrollo de recursos humanos de KEPCO (Japón).

tuvo en el pasado y no parece ser muy atractiva para las nuevas generaciones. Dado que en estos países a lo largo de la vida útil de las presas ya construidas van a estar implicadas varias generaciones de técnicos encargados de su explotación, mantenimiento y conservación, la transferencia del conocimiento (*know how*) entre unas y otras se ha convertido en una de las mayores preocupaciones, y ante la más que previsible ausencia de futuros técnicos en la materia es por lo que se hace necesario debatir como atraer hacia ese tipo de estudios a las futuras generaciones y como mejorar su formación y especialización.

En el 8º Simposio del Club Europeo de ICOLD, celebrado en Innsbruck en 2010 bajo el título *Seguridad de presas en un entorno cambiante y sostenible*, los dos temas principales tratados fueron precisamente *educación y transferencia de conocimiento*, poniendo de manifiesto la preocupación que Europa y más concretamente el Club Europeo tiene por estos dos temas.

El intercambio de experiencias y de conocimiento en materia de presas entre países recae sobre los distintos Comités Nacionales que se agrupan alrededor de ICOLD, organización que fomenta y tiene un gran interés en que se organicen este tipo de actividades y que actualmente dispone de un Comité Técnico (Z: Fortalecimiento de habilidades en materia de presas) para estudiar como impulsarlas.

El Comité Austríaco, por ejemplo, organiza periódicamente cursos de entrenamiento para el personal técnico encargado de la explotación de las

grandes presas pertenecientes a las más importantes compañías del país. También los organiza para propietarios de presas pequeñas. Y a otro nivel, organiza cursos teórico-prácticos de 4 ó 5 días, incluyendo visitas a algunas presas para hacer prácticas, para aquellos ingenieros encargados de la gestión de la seguridad de las presas.

El Comité Español de grandes presas viene organizando desde hace 2 años el *Master Internacional sobre seguridad y explotación de presas y balsas*, dirigido a la formación de técnicos en ambas materias, sean titulados o no. Se intenta ahora, con el apoyo del Club Europeo de ICOLD, organizar una experiencia piloto a nivel Europeo, con un modelo parecido al del Master español, pero particularizado para cada una de los países que integran el Club.

Otra forma de entrenar al personal técnico es el desarrollado por la compañía japonesa KEPCO. Dado que la primera causa de rotura de presas es el desbordamiento, ha desarrollado e instalado en sus oficinas un simulador que incluye, además de las principales características de cualquier presa, el pronóstico del tiempo, de precipitaciones y de caudales entrantes en el embalse, y que permite entrenar a los operadores de explotación de sus presas ante situaciones de avenida muy variables. Además, el sistema permite analizar a posteriori la estrategia seguida por el operador y corregir todos sus posibles errores, ya que toda la información relevante queda almacenada en el sistema: secuencia de aperturas/cierres de válvulas y compuertas, caudales entrantes y evacuados, etc.

4. Resumen de los artículos presentados a la sesión

4.1. Subtema 1: Accidentes/Incidentes en presas y embalses

ICOLD considera como accidente/incidente en una presa la liberación parcial repentina de un cierto volumen de agua, mientras que como rotura entiende la liberación total del agua almacenada en el embalse.

Disponer de una buena base de datos de accidentes y roturas de presas es esencial para la comunidad presística internacional para incrementar el conocimiento, extraer conclusiones y no repetir errores cometidos en el pasado.

Sudáfrica (Report 31) presenta las lecciones aprendidas a partir de los accidentes y roturas ocurridos en el país, después de 100 años construyendo presas. El mayor porcentaje de incidentes ocurrió hasta la década de los 50 del siglo pasado. La posterior promulgación de la legislación en materia de seguridad de presas ha tenido como consecuencia que no haya ocurrido ninguna rotura más desde entonces.

Francia en el R23 presenta una base de datos de incidentes ocurridos en presas (40 casos), diques (45) y motas de protección (120), relacionados con problemas de erosión interna y externa (desbordamiento), fundamentalmente franceses, aunque hay algunos casos de otros países. Se recogen en la base de datos un total de 30 casos de incidentes en presas pequeñas relacionados con problemas de erosión interna, de los cuales 6 son roturas.

El R1 establece la necesidad de prever la apertura de cualquier tipo de válvula o compuerta manualmente en caso de desactivación de los sistemas eléctricos y el R44 describe un sistema de predicción de avenidas a partir de datos de precipitaciones, que resulta muy interesante para organizar adecuadamente la explotación en caso de presentación de avenidas 6 horas antes de que se produzcan.

Sólo dos Reports, el 11 y el 28, hacen referencia a aspectos sísmicos. Este último describe como las presas cercanas a la localidad de Lorca no sufrieron ningún daño por el terremoto ocurrido el pasado año, registrándose tan sólo un pequeño desprendimiento de rocas en uno de los taludes del camino de acceso a una de las presas.

El R3 describe un problema en la presa Massingir (Mozambique) relacionado con el fallo de la única válvula que cierra cada uno de los conductos del desagüe de fondo. El caudal liberado se supone que fue de unos 1000 m³/sg, generando importantes daños aguas abajo. La existencia de una segunda válvula en serie con la anterior habría eliminado la posibilidad de ese fallo.

En el R21 se analiza el nivel de seguridad –utilizando métodos de fiabilidad– de una presa de gravedad de HCR (Choldocogagna) y de sus estructuras auxiliares, diseñadas todas de acuerdo con las normas de buena práctica en la materia. Concluyen los autores que este tipo de métodos son una magnífica alternativa a los probabilísticos, al tener

en cuenta las incertidumbres de todo tipo asociadas a los parámetros y métodos de cálculo. El resultado en este caso concreto es que respetando esas normas de buena práctica, el nivel de fiabilidad de la seguridad obtenida –de la resistencia al deslizamiento– es muy alto.

El R22 describe el trabajo realizado por el Cuerpo de Ingenieros Americano para detectar los modos potenciales de rotura de la presa Isabella y sus diques de collado después de la revisión de seguridad efectuada. En ésta se concluía que era muy urgente efectuar los estudios complementarios que fueran necesarios para reducir los déficits de seguridad observados en ella. De todos los posibles árboles de fallo, se concluyeron cuales eran los más críticos, que están asociados, mayoritariamente, a fenómenos de erosión interna del cimiento, a la presencia de un conducto que atraviesa la presa, a la aparición de grietas por movimientos sísmicos y a la presencia de una falla que atraviesa transversalmente la cimentación.

4.2. Subtema 2: Riesgos asociados a aspectos humanos y organizativos de la explotación

La vigilancia detallada y continua de una presa y de sus estructuras auxiliares y la recopilación, análisis e interpretación de los datos de auscultación, efectuadas por personal bien formado y experimentado, son, sin duda, los factores clave para poder evaluar correctamente cual es su seguridad.

Los sistemas automáticos de adquisición de datos por si solos no sirven para aumentar la seguridad. La forma de presentación de los datos obtenidos por ellos, sus correlaciones, el rango en el que deberían encuadrarse las lecturas, la comparación con los datos históricos, en definitiva, el juicio ingenieril, es lo que verdaderamente da esa seguridad.

Algo parecido ocurre con los sistemas de comunicaciones empleados para gestionar las situaciones de emergencia, que además deben ser redundantes. Si bien son un elemento más de seguridad, si la población potencialmente afectada no ha sido informada y entrenada previamente para saber qué debe hacer en esas situaciones, en la práctica servirán para muy poco. Además es preciso garantizar que incluso en esas situaciones tanto el suministro eléctrico como las comunicaciones funcionan correctamente (R1).



Como en España, China considera que los sistemas de alerta temprana o de aviso a la población en caso de situaciones de emergencia son esenciales para minimizar los daños aguas abajo y un aspecto fundamental de la seguridad (R41) La activación de los sistemas de aviso sigue un esquema en cierta medida similar al español: depende de la mayor o menor gravedad de la hipotética situación de emergencia, que ha sido previamente analizada en profundidad y que puede ser desde la presentación de avenidas, de inestabilidades de la estructura y/o de sus elementos auxiliares, de polución en el agua, de lecturas anómalas de los elementos de instrumentación, de sismos, etc.

Con respecto a los temas humanos y organizativos de la explotación de las presas, en situaciones normales o de emergencia, ante las interdependencias que muchas de ellas presentan entre sí, así como con otros sistemas complejos, el análisis de riesgos en general, y los árboles de fallo en particular, permiten actualmente evaluar como mejorarlos, como superar los déficits observados en ellos y cómo, con quién y dónde es preciso reforzarlos (R33).

Con respecto al mantenimiento de los equipos mecánicos, en el R34 se describe un interesante ejemplo de la forma en que dicho mantenimiento se realiza en Japón, de forma que su nivel de seguridad sea lo más alto posible con el mínimo coste. Esos equipos son sistemáticamente clasificados en función de las consecuencias derivadas de su rotura o funcionamiento incorrecto, en tres categorías: De Impacto Social Alto, Medio y Bajo. Las posteriores actividades de mantenimiento se organizan en función de esa clasificación, de forma que serán más frecuentes y más profundas en el caso de el equipo se haya clasificado como de Impacto Alto, y lo contrario en el caso de que su Impacto sea bajo.

Un mantenimiento ciertamente excepcional se describe en el R17. En Austria, la normativa de seguridad de presas vigente preceptúa efectuar un vaciado total del embalse cada 20 años para inspeccionar todas las partes relevantes de presa, estructuras auxiliares y vaso del embalse.

4.3 Subtema 3: Regulación, Guías y normas de buena práctica

Varios países han presentado aspectos relacionados con sus regulaciones en materia de seguri-

dad de presas: Suecia (R2), Polonia (R4), Rusia (R5), Suiza (R9), Francia (R12 y R14) y España (R24).

El caso Sueco es muy interesante (R2). De las 10.000 presas que hay en el país, 500 han sido clasificadas de alto riesgo, atendiendo a las consecuencias derivadas de su rotura. Pero no hay una Ley específica relativa a qué seguridad deben tener, si bien ésta es responsabilidad del titular. Se creó hace unos años una Oficina independiente de seguridad de presas, a la que se encargó revisar junto con el titular, presa e instalaciones auxiliares. Los resultados obtenidos de dichas revisiones parecen cumplir las demandas actuales de la sociedad, por lo que se hace necesario redactar una nueva normativa que las tenga en cuenta.

Igualmente Polonia (R4) no dispone de normativa específica relacionada con las obras hidráulicas y no existe un centro de vigilancia de la administración para el control de la seguridad. Desde el año 2011 se viene efectuando una revisión de la seguridad de las presas, sólo desde el punto de vista hidrológico, de acuerdo con la Ley de Aguas. Concluye el trabajo la necesidad de formar mejor a los técnicos encargados de la seguridad y a los encargados de analizar e interpretar las lecturas de los elementos de auscultación instalados en las presas.

Suiza (R9) dispone de una actualización de la legislación existente de seguridad de presas, en la cual se delimitan las responsabilidades de cada una de las administraciones competentes en la materia y de los operadores de las presas. Las consultas públicas efectuadas previamente a su aprobación, en cada uno de los estados que constituyen la confederación helvética, las enmiendas efectuadas, y la forma en la que se han resuelto, han consumido un período de tiempo muy amplio.

Muy similar al modelo español, desde 2007 los requerimientos de seguridad de las presas francesas (vigilancia e inspecciones de detalle) dependen de la categoría en la que hayan sido clasificadas: A (Mayor riesgo), D (Riesgo menor). El sistema de clasificación está basado en la obtención de un parámetro que denominan *peligrosidad potencial*, y que se obtiene de la siguiente forma:

$$P = H^2 \sqrt{V}$$

siendo H la altura de la presa en m y V el volumen retenido por el embalse en m³.



El R24 efectúa una estimación de cuál será el coste de adaptación de las aproximadamente 60.000 balsas existentes en España a la nueva normativa aprobada en 2008: unos 6.750 M€, con un coste anual de actividades relacionadas con la seguridad en explotación de 830 M€.

En relación con los temas sísmicos, y a la vista del importante terremoto ocurrido en Japón el pasado año, el Centro de Ingeniería de presas japonés presenta en el R40 el borrador de la Guía que ha desarrollado para evaluar correctamente el comportamiento dinámico de presas, y muy especialmente, el de sus compuertas.

4.4 Subtema 4: Riesgos específicos de las presas pequeñas

Se ha dicho en muchas ocasiones que las presas pequeñas presentan unos mayores déficits de seguridad que las grandes ya que en ellas, en general, suelen relajarse los estándares de diseño, de calidad de la construcción, y de las frecuencias de todas las labores de mantenimiento, conservación, vigilancia e inspección durante la explotación. No es por eso raro que en la práctica las estadísticas muestren que en ellas los accidentes y las roturas se presentan en un mayor porcentaje.

El R16 describe que en Indonesia se construyeron en la década de los 60 del siglo pasado muchas pequeñas presas para riego –llamadas *situ* y que son realmente en muchos casos balsas–. Despues de la rotura de una de ellas en 2009 se efectuó una investigación de su estado y se llegó a la conclusión de que había que actuar con carácter inmediato en muchas de ellas. Para complicar las cosas, en la mayor parte de ellas, y por su cercanía al agua, a su alrededor se ha asentado mucha población. Las medidas estudiadas consisten en construir aliviaderos –inexistentes hasta ahora en muchas de ellas–, aumentar los resguardos, y muy especialmente, acometer labores de mantenimiento y conservación periódicos y de formación a los encargados de su explotación.

En Sri Lanka las importantes lluvias ocurridas en el país los años 2010 y 2011 provocaron la rotura de más de 500 presas pequeñas y 3 grandes. Una de las principales lecciones aprendidas fue que la mayor parte de ellas se había proyectado y construido en una época de sequía, por lo que las avenidas contempla-

dadas para el diseño de los aliviaderos fueron claramente subestimadas. Pero igualmente se detectaron graves fallos en ellas por el paso de mucha circulación pesada por las coronaciones, pérdidas de resguardo por asientos excesivos de la cimentación del cuerpo de presa, ausencia casi total de mantenimiento y conservación y falta de comunicación entre las organizaciones encargadas de explotarlas y de asegurar su seguridad. Otra de las principales conclusiones es la necesidad de gestionar el recurso y la seguridad a nivel de cuenca hidrográfica.

En la China moderna se han producido hasta la fecha más de 3500 roturas de presas por desbordamiento, muchas de las cuales eran de materiales sueltos y pequeñas (R38). Tras el terremoto de 2008 en la provincia de Wenchuan, más de 2000 presas (grandes y pequeñas) sufrieron sus efectos. Las situadas a una distancia del epicentro de menos de 40 km resultaron totalmente dañadas, y sólo un 10% de las que se encontraban a distancias mayores tuvieron deterioros de importancia.

4.5 Subtema 5: Riesgos específicos en presas de residuos mineros, depósitos de sistemas reversibles, estructuras de todo tipo, etc.

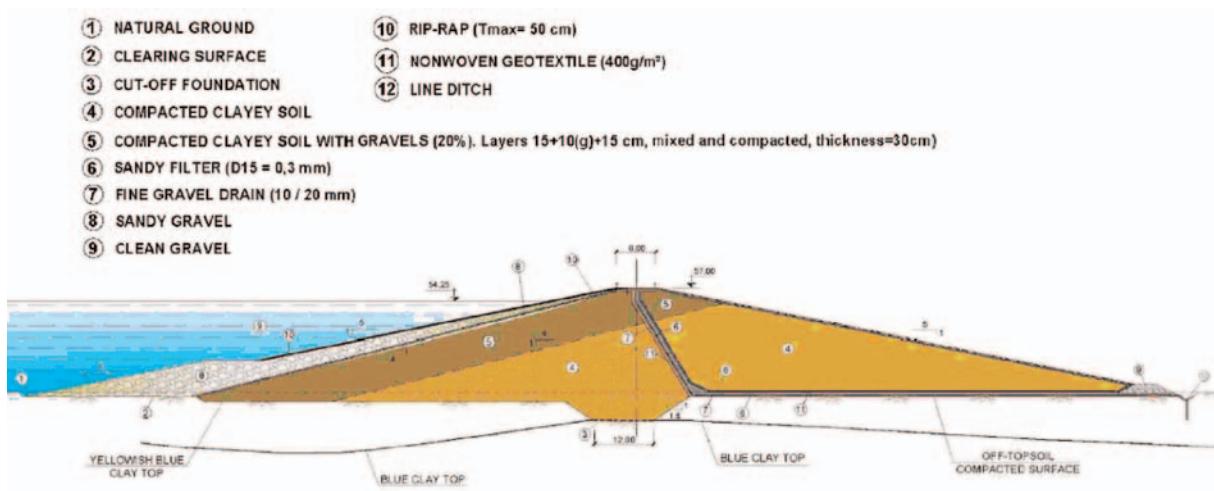
En esquemas reversibles, y más concretamente para el diseño del aliviadero del depósito superior, es fundamental tener en cuenta la posibilidad de que una actuación negligente pueda provocar un desbordamiento de dicho depósito, como ocurrió en Ameren's Sauk Tamuk, en Estados Unidos, en 2005 (R18 y R19).

La aparente dificultad de calcular cuál es la probabilidad de rotura de una presa por la ausencia de estadísticas fiables, dificulta la posibilidad de que las compañías de seguros fijen una cuota anual para una póliza de seguros que cubra tal eventualidad. El R30 propone un sencillo método para hacerlo, como suma de dos términos: p_1 y p_2 . p_1 sería la probabilidad de rotura determinada en la etapa de diseño y tendría en cuenta toda la información disponible de presa y cimiento en ese momento y p_2 –valor que caracterizaría el incremento de p_1 durante la explotación– es posible determinarla a través del análisis del comportamiento de 130 casos recogidos por los autores.

El R23, describe el avance de la investigación (ERI-NOH) en fenómenos de erosión interna en presas de



Fig. 4. Sección tipo del dique de cierre de la balsa La Restinga (Sevilla, C.H. Guadalquivir).



materiales sueltos efectuada por un grupo de trabajo francés, que puede ser de mucha utilidad en trabajos de mantenimiento y conservación y en la revisión de la seguridad de muchas de esas presas.

El uso de materiales de alta plasticidad, medianamente expansivos, con los que se construyó el dique de cierre de la balsa de La Restinga, cerca de Sevilla, se describe con todo detalle en R25. Una vez estudiadas, muy profundamente, las conocidas arcillas azules del Guadalquivir, se diseñó una sección tipo de la presa acorde a las mismas con taludes muy tendidos (1(V):5(H)), y para reducir la expansividad de esos materiales se mezclaron con hasta un 20% de otros granulares gruesos (gravas) existentes en las inmediaciones y fácilmente accesibles. El comportamiento del dique, hasta la fecha, una vez efectua-

do el llenado del embalse ha sido muy bueno, confirmando la adecuada elección de las mezclas llevadas a cabo.

El R42 describe la campaña de inspecciones efectuada en Japón, después del terremoto de Tohoku, a un total de 363 presas que sufrieron en su base aceleraciones del orden de un g, o incluso mayores, a pesar de que la distancia al epicentro era grande. Debido a que las solicitudes sísmicas en Japón son frecuentes, la mayoría de las presas tiene sistemas de auscultación a partir de los cuales es posible obtener el espectro de respuesta. En cualquier caso, es destacable que los daños sufridos por las presas, que se describen, fueron muy pequeños. Sólo una, Fukinuma, no incluida en el ámbito de dicha normativa, se rompió. ♦

Referencias:

-(1) Boletín n° 59. Dam safety management. ICOLD. 1987

-(2) Bowles D.S. Tolerable Risk for Dams: How Safe is Safe Enough? Proceedings of US Society on Dams Annual Conference, March, Philadelphia, Pennsylvania, 2007.

-(3) Escuder, I. et al. "DAMSE project. A European Methodology for the Security Assessment of Dams". Proceedings of the XXIII International Congress of Large dams. Brasilia, ICOLD, 2009.

Q93. Safety

Since its creation, one of the biggest concerns of the International Commission on Large Dams (ICOLD) has been dam safety, as shown by the high number of bulletins addressed to this issue written by this organization, and by number of times this aspect has been included and discussed at the congresses, which are held every three years.

In 1979, ICOLD created the Technical Committee on Dam Safety, to which entrusted the mission to develop a new philosophy on dam safety. In 1987, in his famous Bulletin No. 59, concluded that ... *safety must take priority over any other consideration*. This Committee -one of the most numerous of ICOLD, with more than 30 member countries - has been working since 1982 on dam safety field.

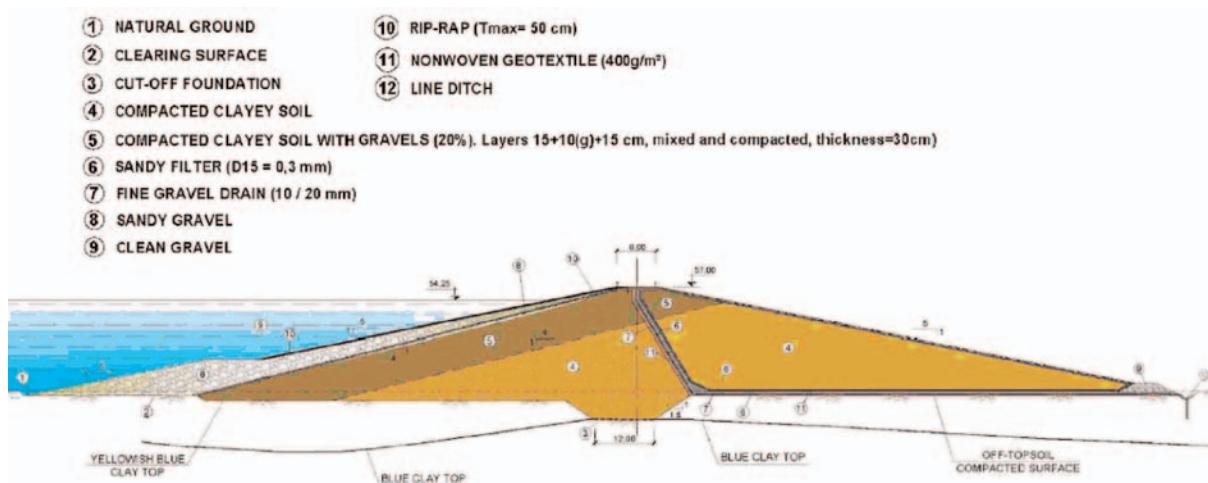
In the last three decades, safety, in a general sense, has been chosen eleven times to be discussed on ICOLD Congresses. Dam safety considered in a broadest sense, but has been discussed also what's the most appropriate way for being managed. Incidents, failures, aging, rehabilitation, safety assessments, and risk analysis have been aspects very well discussed and deeply studied.

The paper describes how the 93th question of the 24th International Congress on Large Dams, which was newly devoted to Dam safety, was developed, and what have been the main conclusions reached after the presentations made by the authors selected by the question's chairman and whose papers are conveniently described on the General Report.



Simulator installed at the Center for Human Resource Development KEPCO (Japan).

And finally, the paper describes how to transfer properly the knowledge between two different generations: one that designed and constructed dams on the past and another one that probably will not do that on the future but however will maintain and preserve them. Very different activities, all of them with a high degree of specialization, but not very clear today how to proceed. This was discussed on the 8th Symposium ICOLD European Club, held in Innsbruck in 2010 and it is possible to say that is one of the major concerns of the European Club of ICOLD today. ♦



La Restinga Dam Cross section (Sevilla, Guadalquivir Authority river basin).

