

CUESTIONES DEL CONGRESO

Q-75: ACCIDENTES Y ROTURAS DE PRESAS

José Alberto Herreras Espino.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Vocal Titular del Comité Nacional Español de Grandes Presas.

RESUMEN

Se resume y comenta en el presente artículo el Informe del Ponente General de la Cuestión 75: Accidentes y roturas de presas. También se describen los informes específicos con los que contribuyeron los ingenieros españoles antes de la celebración del Congreso celebrado en Florencia en Mayo de 1997 que fundamentan el mencionado Informe.

ABSTRACT

The article presents a summary and some comments on the General Report of Question 75: incidents and failures of dams. It mentions the papers on specific aspects submitted by Spanish engineers before the May 1997 meeting in Florence and that formed the basis of the General Report.

1. TEMARIO DE LA CUESTIÓN 75

En 1995 de acuerdo con el reglamento interno de I.C.O.L.D., -y con motivo de la Reunión Ejecutiva anual celebrada en Oslo- se eligieron tres temas que habían de debatirse en el decimonoveno Congreso Mundial de Grandes Presas a celebrar en Florencia en 1997. En esta ocasión solamente se eligieron tres por cuanto previamente se había decidido que, a partir de este Congreso, el primero de los temas sería propuesto por el Presidente de I.C.O.L.D.

El tercer tema seleccionado -entre el grupo de diez finalistas después de las cribas previas- fue el denominado ACCIDENTES Y ROTURAS DE PRESAS. Como es habitual en I.C.O.L.D el título general de cada cuestión elegida se amplía en una serie de temas que no solamente lo explican sino que intentan limitar las eventuales aportaciones

marginales. En este caso el contenido del temario en cuestión fue el siguiente:

- ▼ a) Accidentes y roturas ocurridas durante la construcción, la puesta en carga o la explotación; causas, mecanismos de rotura, consecuencias y enseñanzas obtenidas.
- ▼ b) Medidas correctivas; acciones inmediatas, reparaciones, abandono de la presa.
- ▼ c) Seguridad pública; sistemas de alarma, planes de emergencia.
- ▼ d) Aseguramiento de la responsabilidad; seguros a terceros.

2. INFORMES ACEPTADOS

De entre los informes propuestos se aceptaron cincuenta (50); una cifra muy aceptable si se

Se admiten comentarios a este artículo, que deberán ser remitidos a la Redacción de la ROP antes del 30 de marzo de 1998.

tiene en cuenta que este tema de accidentes y roturas de presas ha sido muy estudiado, en fechas recientes, por los propios Comités Técnicos de I.C.O.L.D. Como viene siendo habitual en los últimos Congresos, España, con cinco (5) informes presentados se situó a la cabeza de las contribuciones y solamente fue igualada por Estados Unidos y el país anfitrión, Italia. Estos cinco informes españoles son descritos brevemente al final del artículo.

Un somero análisis de los cuatro temas en los que se ha desglosado el título general de la Cuestión 75 demuestra que los dos primeros se refieren a aspectos que se pudieran denominar convencionales, por cuanto han sido analizados más veces previamente; los dos últimos, por el contrario, relativos a la seguridad pública y aspectos de las posibilidades de asegurar los daños y las responsabilidades en caso de incidentes son más novedosos y sobre ellos existe mucha menos información.

No es de extrañar, por lo tanto, que, como se demuestra en el cuadro adjunto, treinta y cinco (35) de los cincuenta informes se dedicarán a uno o a los dos primeros temas, catorce (14) al tercero y solamente uno al cuarto. Estas cifras demuestran que existe más información -y es más fácil escribir- sobre incidentes y roturas ocurridos y las medidas de reparación y rehabilitación tomadas que sobre la seguridad pública, los sistemas de alarma y los planes de emergencia. Por cuanto se refiere al aspecto relacionado con los seguros y los daños a terceros solamente Noruega ha presentado información sobre el sistema que, conjuntamente con Suecia, utiliza para asegurar la responsabilidad y los daños en caso de rotura de sus presas. Es digno de destacar que el Ponente General se haya preocupado de incre-

TEMARIO DE LOS INFORMES

INFORME	PAÍS	INCIDENTES Y ROTURAS	MEDIDAS CORRECTIVAS	SEGURIDAD PÚBLICA	SEGUROS
1	BULGARIA	•	•		
2	CANADÁ	•			
3	ESLOVAQUIA	•	•		
4	CANADÁ	•			
5	ESLOVENIA			•	
6	CHEQUIA	•			
7	CHEQUIA	•			
8	CROACIA	•	•		
9	ESTADOS UNIDOS	•	•		
10	ESTADOS UNIDOS	•	•		
11	ESTADOS UNIDOS	•	•		
12	ESTADOS UNIDOS			•	
13	ESPAÑA	•			
14	POLONIA	•	•		
15	POLONIA	•	•		
16	POLONIA			•	
17	AUSTRALIA	•	•	•	
18	GRAN BRETAÑA	•	•		
19	GRAN BRETAÑA				
20	NORUEGA			•	
21	NORUEGA				•
22	RUMANIA	•	•		
23	JAPÓN			•	
24	ESPAÑA	•			
25	PORTUGAL			•	
26	YUGOSLAVIA			•	
27	YUGOSLAVIA	•	•		
28	YUGOSLAVIA	•	•		
29	ARGENTINA	•	•		
30	JAPÓN	•			
31	ESPAÑA			•	
32	ESPAÑA	•	•		
33	ESPAÑA		•		
34	RUSIA		•		
35	HOLANDA	•			
36	ESTADOS UNIDOS	•	•		
37	ITALIA	•			
38	JAPÓN			•	
39	ITALIA	•	•		
40	ITALIA			•	
41	CHINA	•	•		
42	FRANCIA			•	
43	ITALIA	•	•		
44	ALEMANIA	•	•		
45	BRASIL			•	
46	ITALIA	•	•		
47	GRAN BRETAÑA			•	
48	FRANCIA	•	•		
49	FRANCIA	•	•		
50	BRASIL	•	•		

mentar esta mínima información y proporcionar, como más adelante se describe, una aceptable panorámica de la situación actual al respecto.

3. INFORME DEL PONENTE GENERAL

3.1. DEFINICIONES

El Ponente General -en lo sucesivo P.G.- fue el conocido ingeniero brasileño F.M.G- BUDWEG que entre otros cargos importantes en I.C.O.L.D. -como Vicepresidente- ha sido Presidente del Comité Técnico de Seguridad de la Presa y está, sin duda, muy capacitado para realizar la función que le fue encomendada como lo demuestra su excelente informe.

Como es lógico comienza delimitando la diferencia entre rotura y accidente recordando que, de acuerdo con I.C.O.L.D., desde 1986 se define la rotura como el colapso o movimiento de una parte de la presa, o de su cimentación, que impide la retención de agua en el embalse. En general la rotura genera el desembalse de un volumen muy importante de agua que entraña riesgos para las personas y daños a los bienes situados aguas abajo. A continuación establece que, a lo largo de su informe, debe entenderse que para una presa en construcción se considera que se ha producido la rotura cuando el desembalse repentino que se libera está generado por una carga de agua de al menos 15 m de calado, con independencia de la altura final que tenga o hubiera de tener la presa.

Una vez definida la rotura es obvio que la palabra accidente se reserva para denominar todas aquellas situaciones negativas que no llegan a causar la rotura.

3.2. CONTENIDO

La redacción de los informes del P.G. deben ajustarse al temario seleccionado por I.C.O.L.D. y además tener en cuenta la información aportada por las contribuciones recibidas. Este procedimiento, unido a la obligada limitación de espacio, coarta bastante la posibilidad de que un buen P.G. -como sin duda lo es el ingeniero BUDWEG- pueda extenderse sobre aquellos temas sobre los que por ser de más reciente incorporación al debate internacional existe menos información y consenso. Resulta, en definitiva, que el P.G. ha debido acomodar su informe al temario seleccionado y, por lo tanto, lo ha estructurado de acuerdo con el siguiente índice que, evidentemente, es obligado utilizar también en este artículo.

A) ACCIDENTES Y ROTURAS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN, PUESTA EN CARGA Y EXPLOTACIÓN

- ▼ Causas
- ▼ Mecanismos de rotura
- ▼ Consecuencias

B) MEDIDAS CORRECTIVAS

- ▼ Acciones inmediatas
- ▼ Rehabilitación
- ▼ Abandono de la presa

C) SEGURIDAD PUBLICA

- ▼ Sistemas de alarma
- ▼ Planes de emergencia

D) SEGUROS DE RESPONSABILIDAD Y DAÑOS A TERCEROS

E) EXPERIENCIAS Y CONCLUSIONES

En línea con lo expuesto ut supra aquí se pasará revista a las consideraciones expuestas por el P.G., pero de una forma mucho más escueta por cuanto se refiere a los apartados A) y B) ya que -como el propio P.G. reconoce- no se introducen ni modificaciones ni grandes ampliaciones respecto al estado del arte conocido. Se detallarán más los C) y D) ya que, además de ser menos convencionales tienen gran importancia en este momento para nuestro país. Como es lógico las muy interesantes conclusiones del P.G. se transcriben casi íntegramente; ocasionalmente se añaden también comentarios del autor respecto a la situación en España.

3.3. ACCIDENTES Y ROTURAS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN, PUESTA EN CARGA Y EXPLOTACIÓN

3.3.1. Causas

▼ a) Análisis estadístico

El informe comienza indicando los resultados de los últimos análisis estadísticos realizados por I.C.O.L.D. que fueron expuestos en el Boletín 99 y que prueban que el porcentaje de roturas entre las grandes presas es del 2,2 % cuando se contemplan las que fueron construidas antes de 1950, disminuye a menos del 0,5% para las construidas entre 1950 y 1986 y continúa disminuyendo para las que se han construido después. Es interesante recordar que aproximadamente el 70% de las roturas se han producido durante los primeros diez años de edad de la presa.

Se ha presentado un informe (R.48) redactado por un grupo de expertos franceses que analiza las roturas de las presas con alturas comprendidas entre 10 m y 30 m de altura que son del orden de 125 000. Del estudio realizado se desprende que el 60% de las catástrofes que han producido más de 100 muertos se han registrado en presas de este grupo, lo que pa-

rece indicar que se presta menos atención a las condiciones de seguridad cuando las presas no son de gran altura.

Este análisis también revela que las causas más frecuentes de rotura son la sumersión de la presa producida por el desbordamiento por coronación -debido a infraestimación de los caudales de avenidas- la erosión interna y la inestabilidad estructural -motivada, frecuentemente, por aceleraciones sísmicas-. Se comprueba, una vez más, que en las presas de fábrica se producen menos roturas que en las de materiales sueltos y que las bóvedas son las que tienen menores porcentajes de rotura. Como es lógico, debido a los métodos de construcción y materiales empleados, las presas de estériles mineros son mucho más vulnerables que las normales de materiales sueltos.

▼ b) Accidentes y roturas durante la construcción

Las causas principales de los incidentes que ocurren durante la construcción se deben a alguno de los siguientes defectos:

i) Errores en el Proyecto. Pueden producirse debido a la insuficiente investigación realizada en relación con la cimentación y los materiales. Si bien no es frecuente que se produzcan errores de cálculo importantes se llama la atención sobre la necesidad de que los cálculos informatizados -especialmente las hipótesis y los resultados- sean contrastados por un ingeniero experimentado.

ii) Construcción defectuosa. Aunque las presas suelen ser construidas por compañías con gran experiencia existe siempre la posibilidad -especialmente en regiones o países donde no es frecuente la construcción de estas infraestructuras- de que no se disponga de los dispositivos y conocimientos necesarios para realizar adecuadamente determinada actividad que sea fundamental para la seguridad de la presa. La adjudicación de los contratos en base, exclusivamente, a las condiciones económicas de las ofertas -licitaciones a la baja- conduce a ofrecer precios imposibles de mantener y, en definitiva, a una pobre y peligrosa calidad en la construcción.

iii) Modificaciones no justificadas del Proyecto durante la construcción. La presencia continua del proyectista en la vigilancia de la construcción es fundamental para que las eventuales modificaciones que se produzcan estén fundamentadas desde el punto de vista técnico y no sean sólo un procedimiento para modificar las condiciones contractuales.

iv) Capacidad insuficiente en el desvío del río. La determinación del hidrograma de la avenida que debe considerarse durante la construcción es una tarea difícil, por cuanto se trata de obtener un equilibrio aceptable entre la seguridad y las consideraciones económicas; es otra faceta negativa de la adjudicación de los contratos de construcción

teniendo en cuenta solamente las ofertas económicas. De todas maneras nunca se puede evitar que durante la construcción se produzcan avenidas muy superiores -o en épocas imprevistas- a las racionalmente consideradas; estos casos pueden considerarse actos de fuerza mayor y deben estar previstos por la legislación o cubiertos por los seguros adecuados.

v) Retrasos imprevistos en el programa de construcción. Con independencia de la pérdida de los beneficios que había de producir el embalse durante ese período -que puede modificar la rentabilidad de la obra- el mayor problema que plantea el retraso en el programa de construcción es la exposición a que se somete a las obras a la ocurrencia de una avenida superior a la prevista, ya que al no poder ser desviada por los dispositivos instalados puede producir la sumersión de las obras realizadas.

▼ c) Accidentes durante la puesta en carga

La puesta en carga de una presa -así como el período anual inmediatamente posterior- es la fase crítica de la vida de la estructura y debe ser cuidadosamente planeada y ejecutada. En España este tema se considera tan importante que el nuevo Reglamento de Seguridad obliga a que se redacte un proyecto de puesta en carga que ha de ser aprobado por la Administración y dirigido por un técnico competente en la materia.

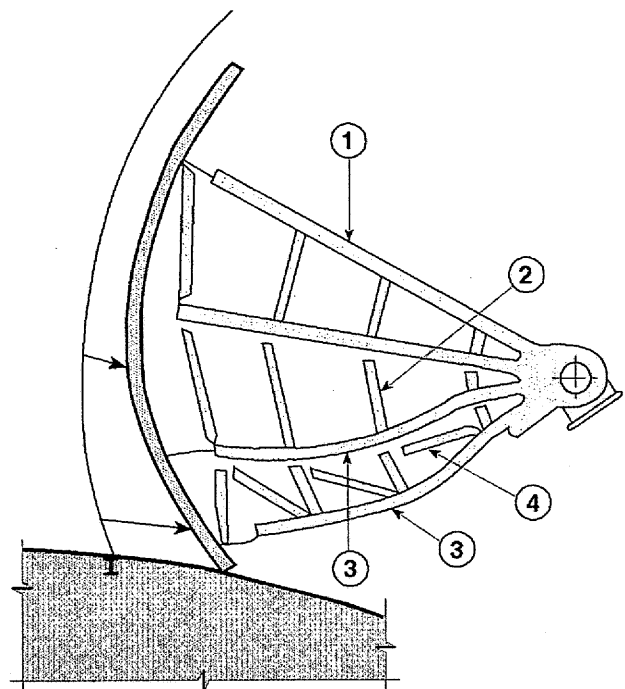
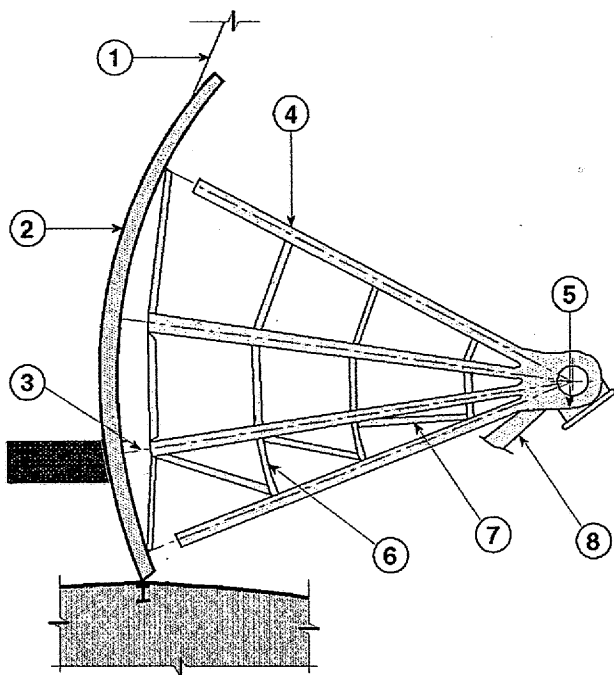
Un aspecto que es preciso controlar de forma exhaustiva durante esta etapa es la evolución del caudal de drenaje. Cuando en presas de materiales sueltos se instalan conductos que atraviesan el cuerpo de presa debe vigilarse la eventual ocurrencia de asientos diferenciales que produzcan fisuras o excesivas deformaciones.

La inestabilidad de los taludes de las presas de tierra pueden ser consecuencia de compactación insuficiente durante la construcción, pero si ocurre durante la puesta en carga, o el primer desembalse, es más probable que se trate de errores del proyecto en la interpretación de los ensayos de compresibilidad; lo mismo puede interpretarse en el caso de asientos diferenciales excesivos en relación con las investigaciones previas realizadas sobre la cimentación.

▼ d) Incidentes durante la explotación

Los accidentes o roturas que se producen durante la explotación de una presa pueden ser fruto de un control o mantenimiento insuficientes, pero también la consecuencia de modificaciones durante la construcción, no aprobadas por el proyectista, o de una construcción defectuosa.

Es absolutamente necesario -aunque desgraciadamente en muchos lugares no se realiza- que existan unas Normas de Explotación de las que nunca debe desviarse el equipo de explotación, especialmente durante las avenidas. Como es bien sa-



PRESA DE FOLSOM (CALIFORNIA). FALLO DE LA COMPUERTA

- ① CADENA
- ② PANEL
- ③ PERFIL METALICO
- ④ RIOSTRA
- ⑤ SOPORTE GIRATORIO
- ⑥ RIOSTRA VERTICAL
- ⑦ RIOSTRA DIAGONAL
- ⑧ TIRANTE DE ANCLAJE

- ① LADO DERECHO DE LA COMPUERTA
- ② RIOSTRA VERTICAL ROTA
- ③ RIOSTRA DEFORMADA
- ④ RIOSTRA DIAGONAL CRITICA

bido tanto la Instrucción de Grandes Presas de 1967 como el nuevo Reglamento de Seguridad hacen especial hincapié en este aspecto; otra cosa es que en este momento todas las presas del país dispongan de unas normas suficientemente detalladas.

No cabe duda de la necesidad de disponer de un sistema de auscultación y de, además, realizar visitas de inspección para revisar el estado de seguridad de la presa. Esta sistemática ha sido reconocida y es aplicada en varios países de forma que se pueda tener un conocimiento inmediato de la situación. En España, el nuevo Reglamento de Seguridad prescribe los condicionantes relativos a este tema en función de la categoría de la presa, mientras que la disponibilidad del S.A.I.H. (Sistema Automático de Información Hidrológica) y su extraordinaria red de comunicaciones permite disponer de los datos necesari-

os en tiempo real. No obstante, es preciso recordar, y así lo destaca el P.G., que es imprescindible procesar esos datos inmediatamente, extraer las necesarias conclusiones y ponerlas a disposición de los responsables de la seguridad de la presa.

Un problema serio y de costosa realización en los países con gran tradición en la construcción de presas es la rehabilitación de presas de avanzada edad, ya que fueron diseñadas y construidas con arreglo a criterios hoy día obsoletos y que no cumplen con los requisitos actuales de seguridad.

De acuerdo con la información disponible resulta que el 65% de las presas que han sufrido rotura durante la fase de explotación han fallado debido al desbordamiento por coronación; esta circunstancia es fruto de estimar el hidrograma de la avenida de proyecto mediante métodos obsoletos, está generada por modificaciones en los coeficientes de escorrentía pre-

viamente utilizados -debido a la instalación de urbanizaciones en la cuenca afluente, por ejemplo- o es debida a la disminución de la capacidad de laminación del embalse por el incremento del volumen de sedimentos atrapados.

Especialmente grave es la invasión de los cauces de avenidas de los valles situados aguas abajo con la consiguiente disminución de su capacidad de desagüe. El responsable de la explotación de la presa se encuentra durante las avenidas ante el dilema de desaguar caudales que pueden producir grandes daños, e incluso poner en peligro la vida de personas, o cuestionar la estabilidad de la presa por el incremento del nivel del agua en el embalse que puede llegar al desbordamiento. Para evitar esta situación es absolutamente necesario limitar las lindes de los cauces públicos y de las zonas de inundación para diferentes caudales, identificar los daños que se pueden producir en cada caso y tomar las medidas oportunas que, en muchos casos, obligarán o bien al desalojo de los cauces invadidos o al incremento del volumen destinado a laminación en el embalse; en este último caso la decisión implica la disminución del volumen útil del embalse y los consiguientes perjuicios económicos, ya que no siempre será posible proceder al recrecimiento de la presa para obtener el incremento de volumen necesario.

3.3.2. Mecanismos de rotura

▼ a) Origen hidrológico

La rotura de origen hidrológico se produce cuando el caudal afluente al embalse, una vez laminado, excede la capacidad conjunta de desagüe del aliviadero y sistemas de desagüe de la presa y se produce el desbordamiento por coronación y la sumersión de la presa. El problema es mucho más grave en las presas de materiales sueltos que en las de fábrica ya que en aquellas el desbordamiento produce la erosión de la capa de protección, si existe, se propaga al cuerpo de presa y finalmente genera la destrucción del espaldón. Contrariamente a la creencia general las presas de escollera son muy vulnerables al desbordamiento por coronación cuando no están muy bien compactadas.

El Reglamento de Seguridad español tiene en cuenta esta circunstancia y exige que se analice el comportamiento de las presas ante la presencia de una avenida extrema, de caudales superiores a la de proyecto. Si bien cuando se produce esta avenida se admite el desbordamiento por coronación para las presas de fábrica, con determinadas condiciones, no se tolera nunca en las de materiales sueltos.

▼ b) Fallo estructural

La rotura debida a fallos estructurales es la última consecuencia de emplear materiales que no tienen suficiente resistencia. El exceso de tensiones es el resultado de alguna de

las siguientes circunstancias: i) Proyecto erróneo; ii) Empleo de materiales inadecuados; iii) Disminución de las características resistentes de los materiales por envejecimiento o falta de protección eficaz y iv) Construcción defectuosa.

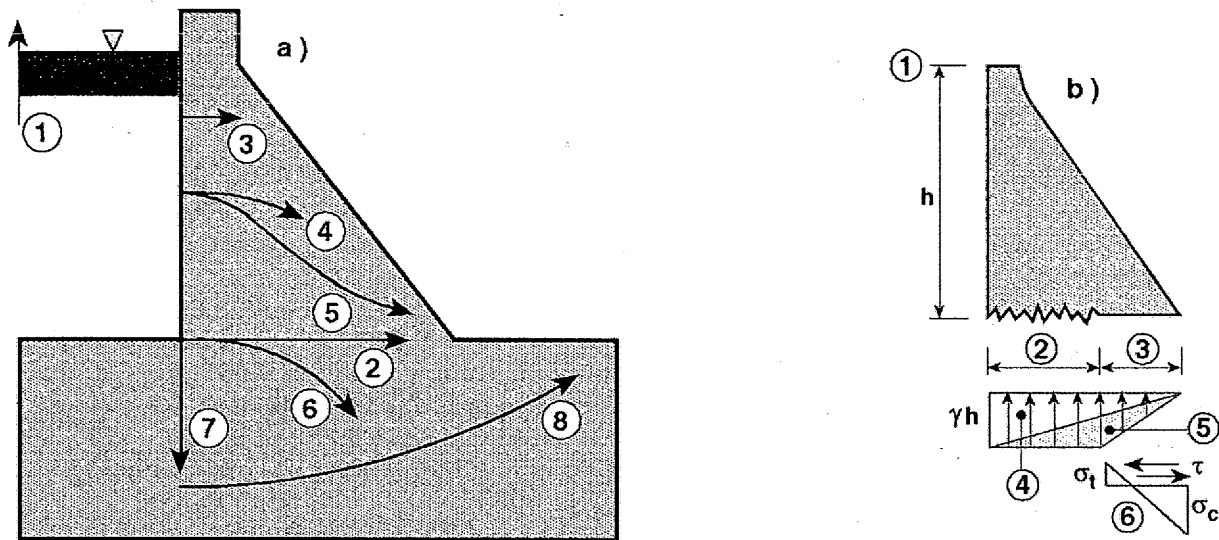
El P.G. comenta una serie de problemas que pueden conducir a la rotura que, aunque generalmente bien conocidos, han sido confirmados por los informes presentados. Entre ellos se pueden destacar los siguientes: i) Erosión interna y sifonamiento producidos por falta de estanqueidad en la cimentación o ausencia de instalaciones de drenaje; ii) Filtraciones a través de la cimentación permeable, de los estribos, de grietas en la pantalla de aguas arriba o en los conductos que atraviesan la presa, de fisuras en el núcleo impermeable, etc; iii) Insuficiente investigación durante la fase de proyecto, especialmente por cuanto se refiere a los terrenos de la cimentación; iv) Modificaciones realizadas durante la construcción que no han sido consultadas ni autorizadas por el equipo proyectista; v) Falta de control y vigilancia técnicos por el equipo proyectista durante la fase de construcción; vi) Procedimientos de construcción inadecuados.

También indica el P.G. que en algunos casos en los que una protección completa de los paramentos de aguas arriba contra las olas pudiera ser muy costosa debido a las circunstancias locales -falta de escollera a distancia asequible, por ejemplo- es viable aceptar ciertos daños -que no pongan en peligro la presa por supuesto- y repararlos inmediatamente después de que hayan ocurrido.

Los informes recibidos ponen de manifiesto los problemas que plantean las presas antiguas -especialmente las de mampostería- debido al empleo de criterios de proyecto completamente superados relativos a la consideración de impermeable e indeformable de la roca de cimentación, a la errónea identificación de las fuerzas presentes -con frecuente olvido de la subpresión- o a las características de los materiales que han sufrido la deterioración impuesta por el tiempo.

En relación con las presas bóveda el P.G. insiste en la necesidad de cumplir estrictamente las prescripciones del proyecto en relación con los momentos en que deben realizarse cada una de las fases y especialmente la inyección de juntas. La inyección prematura puede generar importantes grietas -incluso cuarenta años después de su ejecución- debido a que cuando se realizó la inyección todavía no se habían alcanzado valores despreciables en el proceso de fraguado.

Otro punto al que el P.G. dedica especial atención es a la necesidad de que la ejecución de las estructuras anexas -especialmente los aliviaderos y desagües- se realice con los mismos cuidados y atenciones que la propia presa. Algunos de los informes recibidos indican las interrupciones en el servicio y las dificultades durante las avenidas que han producido la inoperancia de estos dispositivos que, además de comprometer la seguridad de la presa, han supuesto grandes costes en su obligada reparación.



PRESAS DE GRAVEDAD. MECANISMOS DE ROTURA POR CARGAS HIDROSTATICAS

a) PERFIL DE FISURACION

- ① NIVEL DE EMBALSE ASCENDENTE
- ② FISURA HORIZONTAL EN LA CIMENTACION
- ③ FISURA HORIZONTAL EN EL CUERPO DE PRESA
- ④ ⑤ FISURAS CURVAS EN EL CUERPO DE PRESA
- ⑥ FISURA CURVA INICIADA EN EL PIE DE AGUAS ARRIBA
- ⑦ FISURA VERTICAL EN LA CIMENTACION
- ⑧ PLANO DE DESLIZAMIENTO EN LA CIMENTACION

b) ESTABILIDAD DE LA SECCION FISURADA

- ① NIVEL DE EMBALSE
- ② FISURA
- ③ ZONA NO FISURADA
- ④ DISTRIBUCION DE LA SUBPRESION
- ⑤ REDISTRIBUCION DE LA SUBPRESION DEBIDA A LA FISURACION
- ⑥ TENSIONES EN EL HORMIGON

▼ c) Roturas de origen sísmico

Aunque, afortunadamente, nuestro país no está sujeto a frecuentes e intensos sismos, no cabe duda del interés que para nosotros tienen las consideraciones que el P.G. expresa a este respecto. Las más importantes son las siguientes:

i) Los informes recibidos demuestran que cuando las presas se han proyectado y construido teniendo en cuenta las acciones de los posibles terremotos se comportan de forma plenamente satisfactoria. Así se ha demostrado durante el importante terremoto ocurrido en Japón, en 1995, donde no solamente no se produjeron daños sino que la revisión realizada posteriormente sobre cincuenta presas de la re-

gión ha demostrado que hubieran resistido sismos más fuertes.

ii) Es preciso tener en cuenta el problema de la sismicidad inducida cuando se trata de presas de gran altura y embalses de gran capacidad aunque estén situados en regiones de poca actividad sísmica como es la mayor parte de España.

iii) Las presas de fábrica son más resistentes a los sismos, si su cimentación y estribos aguantan las aceleraciones producidas durante el terremoto, ya que en las de materiales sueltos se pueden producir, además, licuefacción y erosiones internas. Este último fenómeno es especialmente peligroso si el elemento impermeable es relativamente rígido -como son las pantallas aguas arriba- ya que no pueden

seguir, sin agrietarse de forma importante, las grandes deformaciones que se producen en el terraplén.

▼ d) Roturas debidas a acciones antrópicas

Aunque hace algunas décadas era casi inimaginable que se pudiera destruir una presa de forma deliberada, para generar daños y muertes aguas abajo, la realidad ha demostrado que no debe excluirse esa posibilidad cuando se trata de acciones de guerra o terroristas.

No es fácil imaginar, durante la redacción del proyecto, cual será el mecanismo de rotura que se puede elegir en una acción de este tipo con el fin de implantar ab initio las medidas correctivas pertinentes. Teniendo en cuenta, sin embargo, que generalmente los métodos empleados serán los bombardeos o las voladuras puede suponerse que los elementos elegidos serán aquellos que son más rápidamente vulnerables a estas acciones: pilas del aliviadero, compuertas, contrafuertes, secciones huecas, elementos de estanqueidad aguas arriba; etc. También son puntos débiles aquellos en los que un experto pueda detectar que se producen concentraciones de fuerzas y tensiones donde sería más fácil desencadenar una rotura progresiva.

3.3.3. Consecuencias

Aunque, como se ha expuesto, las roturas se han producido en mayor porcentaje -especialmente para las presas de menos de treinta metros de altura- en las de materiales sueltos que en las de fábrica no se debe olvidar que el número de víctimas puede ser mayor en estas últimas porque su rotura es mucho más rápida, casi instantánea, y proporciona mucho menos tiempo para la eventual evacuación.

Después de una rotura siempre se realizan investigaciones exhaustivas con objeto de identificar las causas y es deseable que se debata el tema públicamente, de forma que se pueda escuchar tanto la opinión de los expertos nombrados al efecto como la de otros técnicos. Cuando se han producido víctimas o grandes pérdidas materiales es inevitable la acción judicial que puede declarar el secreto del sumario y, generalmente, produce sentencias muy severas y grandes indemnizaciones.

En España la ley actual impone que para que se produzcan las indemnizaciones es necesario que exista algún condenado; esta situación es, evidentemente, poco lógica ya que es obvio que se pueden producir roturas sin que nadie haya cometido actos de negligencia o imprudencia y, sin embargo, existir víctimas y daños a terceros. Dado que no será fácil cambiar la Ley la mejor solución, mientras tanto, sería disponer de los oportunos seguros, aspecto que se trata en el apartado 3.6.

Aunque son menos espectaculares, y se olvidan más fácilmente que las víctimas o los grandes daños, las roturas de presas también pueden generar interrupciones y dificultades

en algunos servicios públicos -agua, energía, comunicaciones, transportes, etc- que deben ser restablecidos lo antes posible.

Una consecuencia de las catástrofes es el incremento en el conocimiento tecnológico que se genera como fruto de las investigaciones y debates; no cabe duda que, siempre, la experiencia obtenida incrementa la seguridad tanto de las presas existentes como, sobre todo, de las futuras que se construyan.

Las restricciones financieras que existen actualmente, en todo el mundo, están conduciendo a un nuevo enfoque basado en la aceptación de un cierto riesgo calculado teniendo en cuenta la relación entre, por una parte, los costes de la eventual rehabilitación y del incremento en la seguridad estructural y operacional y, por otra, el peligro de que se produzcan víctimas y daños económicos. El debate actual se centra sobre los factores a tener en cuenta en el análisis de la probabilidad de ocurrencia de los riesgos potenciales y la de fallo que se puede aceptar para cada una de las distintas categorías de presas.

3.4. MEDIDAS CORRECTIVAS

3.4.1. Acciones inmediatas

Cuando se produce una rotura el agua retenida en el embalse sale en enormes cantidades -frecuentemente mezclada con sedimentos- por lo que los objetivos inmediatos son evacuar o rescatar a los posibles afectados y tratar de limitar el caudal desaguado cerrando, total o parcialmente, la brecha abierta. Si la presa forma parte de un sistema en cascada se pondrán en marcha, simultáneamente, los planes de emergencia disponibles con objeto de salvar de la destrucción al resto de presas del sistema.

Inmediatamente después de que ha pasado la onda de avenida, promovida por la rotura de la presa, los esfuerzos se deben dedicar a restablecer y recuperar los servicios públicos afectados, reconstruir la zona devastada y, por supuesto, comenzar las investigaciones y ejecutar las medidas apropiadas en la propia cerrada.

El P.G. recomienda que los expertos que se hayan de ocupar de la investigación lleguen a la cerrada lo antes posible con objeto de que puedan observar la situación tal y como ha quedado inmediatamente después de la rotura y antes de que las labores de rehabilitación, desescombro, etc, modifiquen o eliminen testimonios que pueden ser importantes para interpretar las causas de la rotura. Es obvio que los procedimientos de reproducción gráfica disponibles hoy día permiten la obtención de películas, vídeos, etc, que garantizan la disponibilidad permanente de los datos visuales.

Después de la ocurrencia de un terremoto es obligado realizar una investigación detallada de todas las presas situadas en la región afectada. Los japoneses han desarrollado un sistema basado en el análisis de los datos precisos obtenidos automáticamente. La posibilidad de introducir este sistema, ya

sea para el caso de terremotos o de cualquier otra causa, es inmediata en España gracias a la disponibilidad del S.A.I.H.

3.4.2. Rehabilitación y reparaciones

A menos que los daños en la estructura sean tan importantes que desde el principio se decida abandonar la presa, la rehabilitación y reparaciones deberían realizarse cuanto antes. Para efectuar la rehabilitación se necesita disponer de numerosos datos, tanto de los correspondientes al proyecto de la estructura inicial como los relativos a las causas y consecuencias de la rotura. En España sería necesario revisar, completar en su caso, el Archivo Técnico y después incorporar todos los datos procedentes de las nuevas investigaciones ya que se trata de redactar un nuevo proyecto que debe cumplir todas las prescripciones y condicionantes de seguridad impuestos por los criterios y reglamentos actuales.

En el proyecto de rehabilitación y en las reparaciones deben revisarse todos los datos y cálculos relacionados con los aspectos hidrológicos y proporcionar un programa de trabajo muy detallado que tenga en cuenta las eventuales demoliciones y su influencia sobre las labores relacionadas con la nueva construcción.

Es imprescindible realizar desde el principio un análisis de las alternativas disponibles para seleccionar la más adecuada. Entre éstas deben incluirse siempre la correspondiente a no hacer nada, la de abandono de la presa y las de reconstrucción total o parcial. La selección debe realizarse teniendo en cuenta criterios técnicos, de seguridad y económicos, y para ello es importante realizar un análisis del riesgo inherente a cada alternativa.

3.4.3. Abandono de la presa

No existen muchos casos todavía de abandonos de presa, ni a causa de su rotura ni por otras cualesquiera; así lo atestigua el hecho de que solamente se haya recibido un informe sobre este aspecto del temario. Aunque el abandono de la presa es la decisión más drástica que se puede tomar después de su rotura debe tenerse muy en cuenta que no es una solución que resuelva por sí sola todos los problemas técnicos, operacionales y ambientales; no se conocen casos en los que la presa rota haya sido completamente removida sin que queden elementos, en situación más o menos precaria de estabilidad y seguridad, de los que es preciso ocuparse.

Dado que la demolición es una operación generalmente costosa y que, además, elimina los ingresos que producía el embalse es evidente que no suele ser la alternativa seleccionada. En todo caso cuando se acomete debe realizarse a partir de un proyecto muy detallado que tenga en cuenta los condicionantes hidrológicos del río y las consecuencias de la desaparición del embalse sobre los tramos fluviales y presas situados aguas abajo, así como sobre sus sistemas de alarma y planes de emergencia. El proyecto debe definir, sin ninguna ambigüedad, las responsa-

bilidades técnicas y financieras de los elementos que permanezcan; por supuesto es obligado considerar también las consecuencias ambientales. En España el Reglamento de Seguridad define los condicionantes y prescripciones que deben cumplirse cuando se trata de abandonar una presa.

3.5. SEGURIDAD PÚBLICA

3.5.1. Sistemas de alarma

La disponibilidad de una administración pública eficiente y de una red de comunicaciones fiables son condiciones básicas para desarrollar un sistema de alarma. Como es bien sabido en España el S.A.I.H. se lanzó -después de las inundaciones de 1982 y 1983- con el fin de recoger los datos necesarios para poder gestionar las avenidas de la forma más conveniente y segura posible. Aunque posteriormente se han extendido sus objetivos, de manera que se han convertido en un magnífico instrumento para facilitar la explotación de los recursos hídricos, ya ha demostrado repetidas veces que su contribución es de enorme valor en el manejo de las avenidas y, por lo tanto, para la seguridad de las presas.

El problema fundamental inherente a los sistemas de alarma es el escaso tiempo del que suele disponerse desde que se detecta la situación de alarma hasta que se produce el fallo de la presa. En el caso en el que la alarma sea debida a la posibilidad de desbordamiento por coronación puede haber bastante tiempo -mucho menos cuando se trata de las denominadas avenidas relámpago-, pero cuando se trata de un seísmo o ataque terrorista el tiempo es mínimo.

Cuando no existen redes de telecomunicación para otros objetivos -como ocurre a veces en los países en vías de desarrollo- no tiene gran interés instalar una especial para el sistema de alarma porque se puede garantizar que será utilizada para otros aspectos de más frecuente empleo. En esos casos es preferible mejorar las redes existentes para compartirlas, promover la instalación de alguna multiuso, o acudir al ejército que suele tener buenas redes de comunicación.

Las redes de alarma deben basarse en un conjunto de puntos de toma de datos hidrológicos muy bien planeado y, por supuesto, deben ser mantenidas adecuadamente.

El sistema de alarma debe extenderse a todo el valle aguas abajo de la presa con independencia de quien es su propietario y de los límites administrativos, ya sean regionales o incluso internacionales. El sistema debe instalarse en todas las presas de la cuenca e incorporar a todas las presas nuevas desde el comienzo de su construcción.

3.5. Planes de emergencia

Las recomendaciones de I.C.O.L.D. sobre seguridad de presas insisten en la necesidad de que exista un Plan de

Emergencia para cada presa en el que se definan las responsabilidades y acciones a realizar por cada uno de los organismos encargados de la explotación de la presa y de la seguridad pública. En el plan de emergencia deben incluirse las acciones a realizar desde que se produce la alarma hasta que se disipan los peligros.

Aunque existen numerosos países en los que, como en España, la disponibilidad de planes de emergencia es una imposición legal, el nivel de detalle que se les exige es muy variable de unos a otros. Para que sea realmente válido debe incluir desde las instrucciones de emergencia en la propia explotación -control de niveles y caudales, desembalses, fuentes de energía y de comunicación alternativas, etc- hasta los procedimientos de reparación, equipos y material necesarios, caminos de acceso necesarios, métodos de transporte, etc. De la misma forma se deben incluir los planes de rescate y evacuación. Las instrucciones incluidas deben ser claras y fácilmente comprensibles y estar disponibles para todas las unidades operativas; deben prever las actividades a realizar en el caso de que se pierda el contacto por fallo en las comunicaciones.

Las regulaciones de seguridad más actualizadas exigen la obtención de planos de las zonas inundables mediante la simulación de la rotura de la presa, así como sistemas de alarma y planes de emergencia. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que los resultados de tal simulación no sirven para nada si no se utilizan, inmediatamente, para preparar los oportunos planes de emergencia correspondientes a cada una de las zonas inundables detectadas. Algunos autores insisten en la necesidad de que los planes de emergencia tengan en cuenta la posibilidad de que acciones terroristas produzcan la rotura repentina de la presa.

Los mapas de zonas inundables deben ser muy claros, con referencias nítidas de las carreteras y núcleos de población y deben facilitarse a todas las unidades involucradas en las operaciones de rescate y evacuación. Es preciso tener en cuenta en su formulación la posible formación de barreras de árboles y residuos que la onda de rotura eliminará, incrementando los calados deducidos en el modelo de simulación.

La preparación de un plan de emergencia debe incluir la visita detallada de los tramos de río situados aguas abajo con objeto de detectar los puntos de obstrucción y los tramos en los que el cauce actual no tiene capacidad para transportar el caudal de la avenida de proyecto en el caso de que fuera necesario desaguarlo.

Los planes de emergencia deben ser actualizados periódicamente, ya que tanto la sedimentación en el embalse como el régimen de los caudales afluentes pueden modificar la capacidad de laminación del embalse y generar caudales desagüados por el aliviadero mayores de los previstos. Por otra parte es frecuente que las condiciones aguas abajo se modifiquen de forma importante e incluso que las invasiones producidas en el cauce -aunque sean ilegales- puedan dar lugar a daños mucho más importantes de los previstos en el momento inicial.

Los planes de emergencia deben ser redactados de forma que sean coherentes con las condiciones físicas y técnicas disponibles, así como con el nivel de desarrollo local y regional. De nada sirve un plan muy sofisticado si no se dispone de los medios materiales y humanos para ponerlo en práctica. En todo caso los equipos asignados a las posibles emergencias deben ser entrenados y actualizados a intervalos regulares.

No se debe olvidar que en las emergencias debidas a inundaciones, terremotos, etc, las condiciones serán anormales y se producirán desastres asociados a las vías de comunicación, puentes, etc; por ello es fundamental que los planes se establezcan teniendo muy en cuenta la claridad en la exposición y la facilidad en la aplicación.

El nuevo Reglamento de Seguridad y la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones señalan la obligación que tienen los titulares de presas que hayan sido clasificadas como del tipo A o B de redactar un plan de emergencia; el contenido mínimo de este plan, según los citados reglamentos, deberá extenderse a: i) Análisis de seguridad de la presa; ii) Zonificación territorial y análisis de los riesgos generados por la rotura de la presa; iii) Normas de actuación; iv) Organización y v) Medios y recursos.

3.6. ASEGURAMIENTO DE LA RESPONSABILIDAD. SEGUROS A TERCEROS

No es éste un tema muy familiar para los ingenieros de presas porque generalmente no se han visto envueltos profesionalmente en él; no es frecuente ni que las presas en explotación se aseguren frente a los daños que puedan sufrir ellas mismas o terceros, a consecuencia de su rotura, ni tampoco que se prodiguen pólizas que cubran la responsabilidad de los titulares, o sus técnicos, en el caso de accidentes. Esta aseveración es particularmente cierta en los países donde la mayoría de las presas pertenecen al Gobierno o a organizaciones gubernamentales.

En los países donde la mayoría de las presas pertenecen a compañías privadas resulta que tanto los daños como las responsabilidades derivadas de una rotura o accidente importante son tan altos que sobrepasan los capitales y posibilidades de los Titulares y, por lo tanto, es frecuente que existan prescripciones legales que los obligan a asegurar ambos conceptos. Aunque los detalles sobre los seguros correspondientes a las presas varían de una compañía aseguradora a otra las líneas básicas suelen ser comunes a todas ellas; al menos por cuanto se refiere a la responsabilidad que contrae el Titular.

La información que proporciona el P.G. en su informe procede de la que ha obtenido en Brasil ya que, como se ha indicado previamente, solamente ha recibido una comunicación al respecto. De acuerdo con ella parece ser que el seguro de las presas y sus estructuras anejas durante la construcción es una práctica frecuente incluso en los países en los que el Titular es

el Gobierno. Se utilizan a este respecto los seguros denominados C.A.R. (Construction All Risks) y E.A.R. (Erection All Risks) que cubren todos los riesgos de pérdidas y daños debidos a catástrofes naturales -inundaciones y terremotos- así como los errores de proyecto, los defectos de construcción, mal funcionamiento o capacidad insuficiente del equipamiento permanente, el fuego y otras circunstancias imprevistas. Tanto el contrato C.A.R. como el E.A.R. pueden incluir la responsabilidad del Titular y de otros agentes implicados en la construcción o instalación; el E.A.R. cubre las responsabilidades mutuas del TITULAR y del constructor-instalador así como la de todos los subcontratistas y los riesgos a terceros.

Como es lógico el tipo de presa y las dificultades y peligrosidad de algunos de los trabajos -túneles, voladuras, etc- influyen sobre las coberturas y los límites de indemnización. En este tipo de póliza pueden incluirse también otros riesgos tales como la pérdida de bienes, los retrasos en el comienzo de la explotación y los lucros cesantes

En ambos tipos de contratos lo primero que la compañía de seguros realiza -obviamente con anterioridad a la firma- es una evaluación de los riesgos; se fijan así las pérdidas máximas posibles que se pueden producir mientras la presa y estructuras anejas están en construcción y el equipamiento está en instalación. El valor de estas pérdidas máximas es el parámetro fundamental para fijar el coste de la póliza, que debe ser pagado íntegramente a la firma del contrato.

Los daños y cobertura de responsabilidades para las presas en explotación deben ser cubiertos por pólizas anuales. Aunque lo normal es que ambos conceptos estén cubiertos por el mismo contrato también pueden asegurarse por separado en contratos independientes. Si bien es posible asegurar los riesgos de un eventual sabotaje en ningún caso se incluyen los producidos por la guerra. Los daños debidos a actos de terrorismo se suelen asegurar en contrato separado y su coste es relativamente alto.

La indemnización por riesgos durante la etapa de explotación está limitada por los eventuales daños -tanto aguas arriba como aguas abajo- que se pueden producir en los terrenos rurales, áreas urbanas, servicios públicos, sistemas de transporte, etc. También influye el tipo de actividad y objetivos de la presa ya que estos aspectos influyen de forma diferente sobre los daños a terceros. Otro factor que se considera en el contrato es la región o país donde está situada la presa ya que los niveles de indemnización pueden ser muy diferentes; especialmente los que se refieren a la pérdida de vidas humanas para los que las leyes de los diferentes países son muy diversas.

El nivel de la franquicia estipulada depende de la historia de incidentes, durante los últimos cinco años, del asegurado, del país en que esté situada la presa, así como del tipo de empresa aseguradora que se emplee. El coste de la póliza, expresado en un porcentaje del contrato, se negocia después de la visita de inspección realizada por la compañía aseguradora. La inspección se repite cada dos ó tres años con el fin de revisar

la seguridad estructural y operacional así como la calidad de la conservación que se realiza. La mayor parte de los contratos contiene una cláusula que permite a la compañía aseguradora la rescisión del contrato si considera que la explotación y conservación que se realizan se hacen con descuido y negligencia.

Los contratos pueden incluir cláusulas que tengan en cuenta los eventuales daños al medio ambiente. Las indemnizaciones, sin embargo, solamente se abonarán en caso de daños bien probados y demostrados y no por reclamaciones sobre daños generales al medio ambiente que no se reconocen como un riesgo cubierto por el contrato.

Los propietarios de presas noruegas han creado su propia organización de seguros -una especie de cooperativa- que posteriormente fue ampliada a los propietarios de presas suecas y actualmente se extiende, en condiciones muy favorables, a un total de mil trescientas (1 300) presas.

La mayor parte de estos contratos están reasegurados en el mercado internacional; como es bien conocido el reaseguro es una práctica común en el mundo del seguro y trata de ampliar el riesgo tomado por la compañía aseguradora, a un gran número de otras compañías, con objeto de diseminar riesgos y garantizar los cobros al asegurado. En algunos casos, como en España, el reaseguro está manejado por una organización de carácter nacional.

3.7. LECCIONES EXTRAIDAS DE LOS INFORMES

Como bien indica el P.G. es evidente que no todas las lecciones que se pueden extraer de los informes presentados en la Cuestión 75 son nuevas, pero es preciso coincidir con él en la conveniencia de incluir todas a fin de proporcionar un resumen completo.

3.7.1. Investigaciones y estudios preliminares

Varios informes detallan como la falta de investigaciones previas suficientes -ya sea geológicas, de sondeos o de las características de los materiales- han producido posteriormente incidentes e incluso roturas que han supuesto trabajos de rehabilitación muy costosos. Estas circunstancias no solamente se han encontrado en presas antiguas sino también en algunas de reciente construcción, si bien es cierto que son más frecuentes en presas pequeñas y en las de estériles mineros.

Los trabajos e investigaciones previas son necesarios en cualquier presa y deben ser evaluados por personal técnico competente y con gran experiencia, de forma que no exista la menor duda acerca de la naturaleza y calidad de la cimentación y de los estribos, así como de las características de los materiales que han de utilizarse. El mismo cuidado se requiere para todos los estudios hidrológicos y, cuando es ocasión de ello, de las investigaciones sísmicas.

3.7.2. Calidad del proyecto

Aunque es prácticamente imposible que durante la redacción del proyecto no sean detectados los errores importantes de cálculo es más probable, y ha ocurrido a veces, que se hayan utilizado criterios de proyecto incorrectos o inadecuados. Por esta razón es muy conveniente que tanto los criterios de proyecto como su compatibilidad con los resultados obtenidos en las investigaciones de campo y laboratorio sean comprobados y revisados por técnicos con la suficiente experiencia y ajenos al proyectista. No debe olvidarse que los programas de cálculo solamente deben ser empleados bajo la supervisión de personas que entienden perfectamente sus bases teóricas y de cálculo.

3.7.3. Estudio de roturas y criterios de proyecto

Son muy numerosos los documentos que se han publicado sobre los estudios de las roturas ocurridas y sus consecuencias. Los proyectistas deberían tener muy en cuenta esta información básica, sobre todo la relacionada con los mecanismos de rotura y la evolución de la filosofía sobre la seguridad de las presas. Esta consideración es de especial aplicación hoy día cuando las crecientes dificultades de financiación generan una creciente presión sobre los criterios de seguridad.

Es triste comprobar que ha reaparecido un escenario de rotura -los bombardeos de presas- que parecía haber desaparecido después de la segunda guerra mundial. Las explosiones que se producen en los aviones, en los trenes, en los autobuses, los explosivos colocados en lugares públicos, en las estaciones, sobre los puentes, las casas, así como el intento de destrucción de una gran presa deben alertarnos de que nada está libre de ser atacado para los que dirigen la guerra o para las acciones terroristas. Esta conclusión obliga a los proyectistas de presas a tener en cuenta éste nuevo escenario cuando se enfrenten con los criterios de proyecto para presas futuras, o cuando piensen en la protección de las existentes.

3.7.4. Control de la calidad durante la construcción

Hay varios casos entre los informes presentados que informan sobre fallos en la construcción. Debe tenerse en cuenta que las presas son unas estructuras con tal potencial de destrucción en caso de rotura que es obligado efectuar el mejor control de calidad posible durante su construcción; ésto es especialmente necesario en regiones donde no existe, o hay poca tradición, en este tipo de trabajos. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que incluso en países con gran experiencia en la construcción de presas se han detectado casos de fallos durante la construcción.

Bajo ninguna circunstancia deberían tolerarse cambios que no hayan sido analizados y autorizados por la organización responsable del Proyecto. El empleo de materiales diferentes a los

especificados, la modificación en detalles estructurales o en la secuencia de las fases de construcción, así como la eliminación de elementos tales como las pantallas de impermeabilización o drenaje han conducido, en algunos casos bien documentados, a la rotura de la presa o han causado graves accidentes. Cuanto mejor sea la relación y entendimiento entre los equipos de proyecto y construcción mayores serán las posibilidades de evitar desviaciones entre la estructura que fue diseñada y la que finalmente ha sido construida.

Es esencial que exista la más estrecha relación entre los equipos de proyecto y los de construcción. Cualquiera que haya sido el cuidado con el que se hayan realizado las investigaciones previas no debe olvidarse que cualquier sondeo, inspección visual o ensayo de laboratorio solamente revelan propiedades en puntos aislados; la correspondencia entre estos resultados de investigación y las condiciones generales del conjunto deben ser constantemente comprobadas mientras avanza la construcción y cualquier desviación sobre lo previsto debe ser comunicada a los proyectistas.

3.7.5. Seguridad: reglamentación y vigilancia

La responsabilidad que corresponde al proyectista y al constructor es sin ninguna duda muy importante, pero no es suficiente para garantizar la seguridad total. Es necesario que existan regulaciones de seguridad que indiquen los requerimientos necesarios así como la vigilancia que ha de realizarse. Se conocen casos, especialmente de presas pequeñas, en que a pesar de haber sido realizados todos los requerimientos de seguridad durante el proyecto y la construcción han sufrido graves daños o roturas porque no existían normas de explotación que tuvieran en cuenta los condicionantes de seguridad posteriores.

Los dispositivos de auscultación y su interpretación inmediata, así como las visitas de revisión periódicas, pueden detectar deficiencias que de otra manera podrían proporcionar graves problemas. Por esta razón es muy recomendable instalar sistemas de auscultación en presas antiguas que no los tengan y que no hayan sido objeto de una vigilancia regular mediante visitas periódicas.

Es de la mayor importancia comprobar, periódicamente, la capacidad del aliviadero en relación con los posibles cambios en los parámetros que determinan la escorrentía y generan las avenidas en la cuenca de aguas arriba. Esta consideración es especialmente importante en aquellas regiones donde se están produciendo grandes desarrollos que pueden cambiar, de forma muy importante, los coeficientes de escorrentía por incremento de las superficies impermeables urbanizadas.

3.7.6. Reparaciones y rehabilitaciones

Aunque no se menciona explícitamente en ninguno de los informes, algunos de los casos históricos que se presentan permiten suponer que se han producido dudas respecto a

cuales deberían ser los criterios de seguridad a utilizar en el nuevo proyecto. ¿Deberían utilizarse los mismos criterios utilizados antiguamente o, por el contrario, deberían utilizarse los nuevos criterios de seguridad?

Esta cuestión ha sido discutida en muchas ocasiones por el Comité Técnico de Seguridad de la Presa de I.C.O.L.D. y está ligada a criterios económicos, ya que es evidente que reconstruir o rehabilitar la presa utilizando los criterios de seguridad antiguos será más barato que utilizar los nuevos que son mucho más estrictos. No cabe duda, sin embargo, de que no es justificable exponer a los habitantes de aguas abajo de la presa a peligros potenciales superiores a los que garantizan los nuevos criterios de seguridad. El citado Comité siempre ha recomendado que cuando se reconstruya o rehabilite una presa deben emplearse los criterios de seguridad actualmente aceptados por la comunidad internacional.

3.7.7. Errores humanos

El error humano se puede definir, sumariamente, como: fallos, decisiones erróneas, omisiones o manejo incorrecto de problemas basados en hipótesis o juicios falsos, falta del conocimiento y de la experiencia necesarios, incompetencia, negligencia o indolencia. Esta definición permite sin duda clasificar algunas de las deficiencias, accidentes y roturas registradas como consecuencia de fallos humanos.

El análisis de las roturas es un método científico que se aplica en muchos campos para investigar las causas de accidentes en los que generalmente se han producido pérdidas de vidas humanas o grandes daños económicos. Las investigaciones realizadas en relación con accidentes de aviones, así como los que han ocurrido en algunos ferry en los mares de Europa, demuestran que un gran porcentaje de ellos fueron causados, sin ninguna duda, por errores humanos.

Aunque pudiera parecer exótica la referencia a los accidentes ocurridos en aviones o barcos no debe olvidarse que unos y otros, como las presas, son grandes sistemas -muy complejos desde el punto de vista técnico -cuyo manejo es vulnerable a los errores humanos. Esta es, sin ninguna duda, una de las conclusiones que se pueden extraer de algunos de los informes presentados.

3.8. CONCLUSIONES DEL PONENTE GENERAL

Todos los análisis estadísticos muestran que el porcentaje de rotura de presas construidas durante los cuatro últimos decenios es sustancialmente más bajo que el correspondiente a las construidas antes. Hoy día continúa la tendencia a la disminución del porcentaje de roturas en las presas proyectadas y construidas de acuerdo a los modernos criterios de seguridad.

Los actuales criterios y métodos de proyecto más sofisticados, las técnicas de construcción muy industrializadas, la

mejora de los conocimientos en el dominio del comportamiento de los materiales de construcción y del mecanismo de su posible fallo, los dispositivos de auscultación cada vez más fiables, han permitido, en el curso de los últimos años, reducir los márgenes de seguridad que se utilizaban anteriormente para compensar las incertidumbres.

Paralelamente a esta evolución, y a la vista de la falta generalizada de recursos financieros, se ha desarrollado una constante presión para reducir el coste de las obras así como reducir la duración de la construcción con el fin de obtener, lo más rápidamente posible, los beneficios que ha de producir la inversión. Estas tendencias han conducido a unas mayores exigencias en la calidad así como, frecuentemente, a la construcción de estructuras menos masivas.

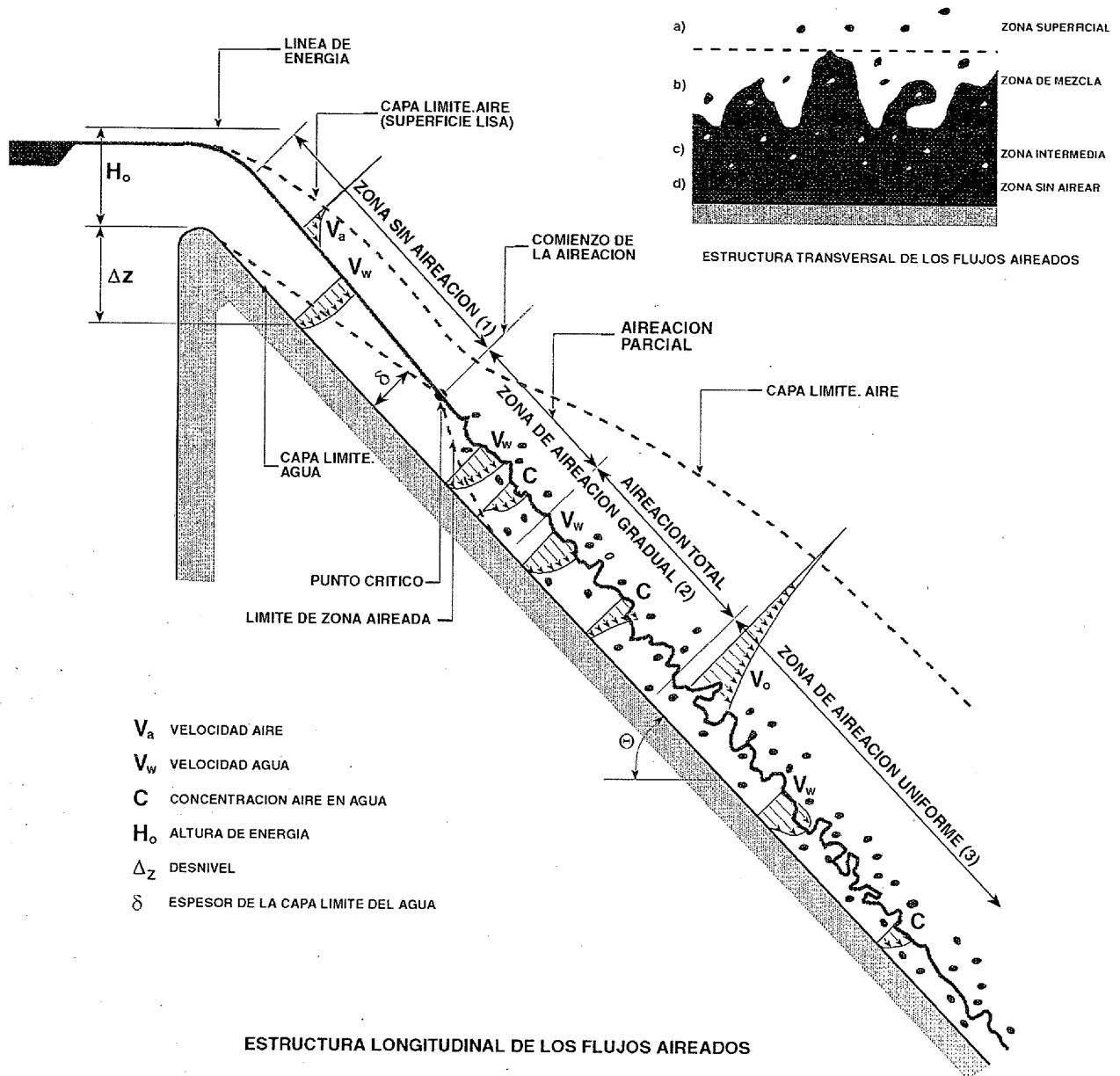
Esta evolución se enfrenta a un nuevo desafío que es el de la rotura deliberada; la destrucción mediante cargas y condiciones que antes nunca se habían tenido en cuenta en el proyecto de presas. En consecuencia será necesario, muy probablemente, tener en cuenta nuevos parámetros en el proyecto.

Es imposible evitar completamente los errores humanos como fuentes de fallo en el proyecto, construcción y explotación, pero es necesario redoblar los esfuerzos para evitarlos al máximo.

Es necesario tener en cuenta los constantes incrementos de los daños que se pueden producir como consecuencia de que una presa se rompa. Se están construyendo cada vez presas más altas y con volúmenes de embalse más grandes y, simultáneamente, el incremento de la población y las necesidades de alimento conducen al desarrollo de las zonas de los valles situados aguas abajo. En este contexto es necesario preguntarse si todavía es aplicable la reglamentación en materia de seguridad más o menos rígida que se estableció hace algunos decenios.

Las técnicas de análisis y evaluación de riesgos son excelentes elementos para guiar las decisiones en materias de seguridad; aunque es necesario continuar ajustando la metodología no cabe duda que, cada vez más, los reglamentos relativos a la seguridad de presas han de tener en cuenta estas técnicas. Se llega así a diferenciar el nivel y las exigencias de seguridad que corresponden a diferentes categorías de presa según sea su dimensión, el medio socioeconómico en que están instaladas y, en algunos casos, su importancia funcional y de explotación.

Algunas regiones del mundo están actualmente en un proceso de desarrollo acelerado que pueden hacer cambiar algunas de las condiciones sobre las que se basó la evaluación del riesgo y de esta manera invalidar cualquier decisión relacionada con los riesgos que se hubiera tomado hace relativamente poco tiempo. Así pues se puede preguntar ¿Cuales son las medidas, económicamente realistas, que se pueden adoptar para evitar que la seguridad de las presas proyectadas de acuerdo a criterios relacionados con el riesgo y expuestos a los cambios mencionados puedan llegar a ser insuficientes?



ESTRUCTURA LONGITUDINAL DE LOS FLUJOS AIREADOS

Como es bien sabido el grueso de la construcción de nuevas presas se ha trasladado desde los países industrializados a las regiones en vías de desarrollo. En estas regiones es frecuente que exista poca o ninguna experiencia relacionada con el proyecto, explotación y conservación de presas; aunque tanto el proyecto como la construcción suelen ser realizados por organizaciones extranjeras con mucha experiencia la explotación y conservación ha de ser efectuada por personal local. Dado que muchas veces los incidentes y roturas han sido consecuencia de insuficiente o inexistente conservación es evidente que tal falta de experiencia ha de ser compensada por la transferencia de tecnología. ¿Cuáles son los mejores medios disponibles para transferir el conocimiento sobre la

conservación de presas, la vigilancia de la seguridad y el entrenamiento para las situaciones de emergencia, incluyendo la explotación durante condiciones extremas?. Cuando se medite sobre la solución a esta pregunta debe tenerse en cuenta que, generalmente, las situaciones económicas en los países que deben recibir esta transferencia son muy estrictas y no pueden permitirse gastar grandes cifras en programas de entrenamiento.

¿Qué se puede decir de las presas cuyo nivel de seguridad no responde en absoluto a los criterios modernos?. ¿Es posible que un plan de alerta muy elaborado, asociado a un control riguroso del comportamiento de la obra y a un dispositivo de alerta eficaz en período de crecidas, pueda compensar el

déficit de seguridad estructural y de explotación?. ¿Qué medidas prácticas serían necesarias para garantizar la fiabilidad permanente del sistema?

¿Cuál es la influencia de los conceptos modernos de conservación, especialmente la preventiva, sobre los contratos de seguros de responsabilidades y sus costes?

4. INFORMES ESPAÑOLES

4.1. LA ACCIÓN TÉRMICA DEL MEDIO AMBIENTE COMO CAUSA DE DETERIORO EN LAS PRESAS ARCO-GRAVEDAD

Este informe figura con el número 13 de los presentados al Congreso y está redactado por J.L. Pérez Castellanos y P. Martínez Marín. El informe analiza los diferentes factores que influyen en la conducta térmica de una presa arco-gravedad y las tensiones que se generan en el hormigón debido a las variaciones térmicas. Se indica que estas tensiones debidas a la temperatura son la causa principal de fisuras en las presas y que una estimación correcta de las probables acciones del medio ambiente es esencial para conocer y controlar las tensiones futuras. Los autores recomiendan que, con objeto de tener en cuenta estos temas en el proyecto de una presa, deben realizarse las siguientes actividades:

- ▼ i) Efectuar una estimación detallada durante la etapa de proyecto de las leyes de la temperatura ambiental, de la del agua y del incremento causado por la radiación solar.
- ▼ ii) Calcular, por medio de un modelo tridimensional, las más altas tensiones que se inducen en el hormigón debido a la variación de las temperaturas.
- ▼ iii) Calcular las tensiones hiperestáticas locales más altas.
- ▼ iv) Efectuar, en determinadas zonas de la presa un análisis complementario de los efectos locales sobre las tensiones debido al ciclo diario de la temperatura ambiental.

4.2. ROTURA DE PRESAS DE MATERIALES SUELTOS DEBIDO A DESLIZAMIENTOS PRODUCIDOS POR SUMERSIÓN

El Informe 24, presentado al Congreso con este título, fue realizado por M.A. Toledo Municio. El autor describe los trabajos realizados en el Departamento de Hidráulica de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid en relación con los fenómenos de desbordamiento por coronación en presas de materiales sueltos cuando se pueden producir roturas por deslizamiento.

Las conclusiones principales que alcanza son las siguientes:

- ▼ i) La mayoría de las presas de escollera son inestables si su espaldón de aguas abajo está saturado

▼ ii) Cuando este espaldón está completamente saturado las presiones intersticiales asociadas a la red de filtración correspondiente son próximas a la altura de la escollera en el punto considerado. El autor presenta una fórmula que permite obtener, rápidamente, una estimación del coeficiente de seguridad, con respecto a un deslizamiento en masa, en una presa de escollera sometida al desbordamiento por coronación

▼ iii) El factor tiempo juega un papel esencial y su influencia se manifiesta a través del proceso de saturación.

4.3. FALLOS Y ACCIDENTES HIDROLÓGICOS DE LAS PRESAS EN ESPAÑA

Se le ha adjudicado con el número 31 de los informes presentados al Congreso y ha sido redactado por L. Berga. El autor revisa los casos de roturas y accidentes en las presas españolas y muestra que la sumersión por desbordamiento de la coronación es su causa principal y alcanza el 30%, lo que representa el 0,3% de las presas existentes. Analiza las causas de las sumersiones y las clasifica en los tres tipos siguientes: a) Imprecisión en la selección de la avenida de proyecto; b) Problemas en la explotación de los aliviaderos y desagües durante las avenidas y c) Sumersiones durante la construcción.

También comenta que los casos de rotura durante las sumersiones han sido nulas en las presas de gravedad mientras que han alcanzado el valor del 45% en las de materiales sueltos. Finalmente describe el desarrollo de las diferentes Instrucciones en España, para acabar explicando sucintamente como es el nuevo Reglamento de Seguridad.

4.4. PRESA DE CHARCO REDONDO. ROTURA DEL ESTRIBO DERECHO DEL CUENCO AMORTIGUADOR

Se identifica con el informe 32 presentado al Congreso y ha sido redactado por los Ingenieros, de la Confederación Hidrográfica del Sur de España, L. Lozano Ruiz-Valdepeñas, A. Merchán López, J.M. Calvo Alvarez.

El aliviadero de la presa de Charco Redondo está situado en la margen derecha y separado de la presa por un macizo rocoso absolutamente estable. Como consecuencia de la acción erosiva de abundantes lluvias y de los efectos de varios seísmos de mediana intensidad se provocó un deslizamiento del terreno en la zona próxima al cuenco de amortiguamiento del que resultó la rotura de su muro izquierdo; el deslizamiento obtuvo con sus escombros la rápida y cuenco y produjo, además, una erosión en la margen derecha debido a la formación de arroyos muy profundos.

El informe describe los estudios realizados para determinar las causas del accidente, los daños producidos y especialmente los trabajos de reparación efectuados con el fin de

rehabilitar el aliviadero e incluso mejorar las condiciones iniciales. Es importante destacar la conclusión de los autores en relación con la necesidad de realizar un estudio exhaustivo de la estabilidad de las márgenes, incluso aunque las estructuras anejas como los aliviaderos estén completamente separadas de la presa.

4.5. AIREACIÓN EN LOS ALIVIADEROS. MEDIDAS CORRECTIVAS PARA LOS DAÑOS CAUSADOS POR CAVITACIÓN

El Informe 33 presentado al Congreso está realizado por R. Gutiérrez Serret que -después de los estudios realizados

para su doctorado y de sus trabajos posteriores- se ha convertido sin ninguna duda en uno de los expertos más cualificados en relación con los temas de aireación en estructuras hidráulicas. El autor se propone destacar la importancia de la aireación para mitigar y prevenir los efectos erosivos de la cavitación, así como explicar la estructura y las características de los flujos aireados naturalmente y las particularidades de los aireadores que es necesario instalar para evitar la mencionada cavitación cuando la aireación natural es insuficiente. Especialmente práctico es el método que presenta para determinar cuando es necesaria la instalación de aireadores y, en este caso, la forma de localizar la situación más adecuada en el aliviadero. ●

DIRECTORIO DE EMPRESAS

INFILCO ESPAÑOLA, S.A.

**Construcción
y Operación
de**

**Tratamiento de aguas residuales
urbanas e industriales.
Potabilización de aguas,
ósmosis inversa.**

Avda. de Burgos, 29
Teléfono: 766 34 00 - Fax: 766 12 25
28036 Madrid



INITEC

CAMPOS DE ACTIVIDAD

- * PLANTAS INDUSTRIALES
- * NUCLEAR
- * ENERGÍA
- * INFRAESTRUCTURA

ALCANCE DE LOS SERVICIOS

- * Estudios Ingeniería básica, de detalle.
- * Gestión de Proyectos
- * Supervisión de montaje, de construcción y puesta en marcha
- * Aprovisionamientos y control de calidad
- * Dirección de obra Realización de plantas "Llave en mano"

DOMICILIO SOCIAL

Padilla, 17. ☎ 587 10 00
Télex 22995 Auxie E -Telefax 431 99 62
28006 Madrid

VÍAS DE COMUNICACIÓN

OBRAS HIDRÁULICAS

OBRAS MARÍTIMAS

PLANTAS INDUSTRIALES

OBRAS SUBTERRÁNEAS

EDIFICACIÓN

RESTAURACIÓN HISTÓRICO ARTÍSTICA



EXPERIENCIA
TECNOLOGÍA
CALIDAD

Parque Empresarial La Moraleja • Avda. Europa, 18
28110 Alcobendas (Madrid) • Tel.: 663 28 50