

## Cuestiones del Congreso

# Q-68: EVALUACIÓN Y MEJORA DE LA SEGURIDAD DE LAS PRESAS EN EXPLOTACIÓN

José M<sup>a</sup> Gaztañaga Sertucha.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

*Vocal del Comité Nacional de Grandes Presas.*

### RESUMEN

*Se recoge en el presente artículo el Informe del Relator General de la Cuestión 68: Evaluación y Mejora de la Seguridad de las Presas en Explotación, así como las comunicaciones españolas a la misma en el Congreso de Grandes Presas de Durban (Sudafrica) en noviembre de 1994.*

### ABSTRACT

*This article summarizes Item 68 of the General Proceedings "evaluation and improvement of the safety level of dams in operation" with the papers presented on this subject by the Spanish delegates to the Congress on Large Dams held in Durban (South Africa) in November, 1994.*

### 1. TEMAS TRATADOS EN LA CUESTION 68

Para la cuestión 68 "Evaluación y mejora de la seguridad de las presas en explotación" se habían propuesto los siguientes apartados:

- a) Aspectos reglamentarios: experiencia adquirida por las autoridades encargadas del control de las presas y por los explotadores.
- b) Métodos de evaluación de la seguridad: ejemplos, resultados y conclusiones.
- c) Medidas para aumentar la seguridad: ejemplos, incluyendo estudios económicos.

Notas:

(I) La cuestión concierne a la estructura de la presa y también al aliviadero.

(II) No se presentarán los detalles de los cálculos.

(III) Los desperfectos que son objeto de atención en un mantenimiento rutinario y no ponen en peligro la estabilidad de presa no se incluyen en la cuestión.

### 2. INFORME DEL RELATOR GENERAL

El gran interés suscitado por la cuestión 68 se refleja en el alto número de trabajos presentados para su discusión, que han sido prácticamente el doble que en cualquiera de las otras cuestiones debatidas en este Congreso. Se han recibido 89 comunicaciones, provenientes de treinta y un países, con una importante presencia española, que alcanzó ocho artículos.

El Informe del Relator General, M. Fanelli (Italia), está estructurado en tres partes: Introducción, que consta de tres páginas, Distribución geográfica y por temas de las 89 comunicaciones recibidas, que consta de tres páginas de texto y dos cuadros, y Conclusiones, que ocupan nada menos que dieciseis páginas de texto.

## 2.1. INTRODUCCIÓN

Se inicia con una serie de consideraciones de tipo general sobre la importancia del asunto de la seguridad de las presas. Se pregunta por las razones que hacen dicho tema tan delicado y se alcanza la conclusión de que ello se debe a que las presas, por una parte, deben durar mucho tiempo, y por otra, pueden causar gran daño si se rompen.

Lo primero significa que muchas presas, en especial las de una cierta edad, no cumplen las condiciones de seguridad que se exigen actualmente, en muchos casos porque la legislación vigente ha cambiado desde que se construyeron aquellas, y en general suele ser muy caro actuar sobre una presa en explotación, no sólo por el coste directo de la reparación o adecuación que sea necesario acometer, sino por la interrupción del funcionamiento normal económico del embalse que dicha intervención casi siempre lleva aparejada.

Por ello se observa que el arte de evaluar y reevaluar periódicamente la seguridad de las presas es una disciplina en auge, que requiere una especialización cada vez más acusada en los diversos aspectos de la técnica que se manejan, pero a la vez una capacidad de síntesis creciente para poder integrar en un discurso satisfactorio los resultados de las investigaciones realizadas.

Se distinguen dos tipos de evaluaciones de la seguridad: aquella que se hace de una vez por todas para juzgar de la idoneidad del proyecto (y, nosotros añadiríamos, de la calidad de la construcción y puesta en carga), y la evaluación continua del nivel de seguridad que se observa en la explotación de la presa a lo largo de su vida útil. Naturalmente en el caso de las presas ya construidas, en las que sea precisa una intervención, ambos tipos de evaluación pueden interferir, como se demuestra en varios de los informes presentados.

Se comenta después la diversidad de criterios existentes en los diferentes países en materia de legislación sobre seguridad de presas, si bien parece detectarse un fondo de tendencias comunes

en los más industrializados, que el Relator General no duda en atribuir a la benéfica influencia ejercida por la Comisión Internacional de Grandes Presas, en su empeño permanente de difundir y discutir los conocimientos y las experiencias de sus miembros.

Finalmente se disculpa por no haber sido capaz de sintetizar un asunto de tan vastas proporciones, máxime teniendo en cuenta el elevado número de comunicaciones presentadas y el alto interés de todas y cada una de ellas, cuya lectura recomienda encarecidamente, no sólo a los ingenieros responsables de presas en explotación, sino también a aquellos involucrados en el proyecto de presas nuevas, que podrán así beneficiarse de las experiencias sufridas por otros.

## 2.2 COMUNICACIONES: DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y POR TEMAS.

En sendos cuadros se resume la procedencia de los textos recibidos y se clasifican éstos en tres grandes apartados: aspectos legales, presas de materiales sueltos y presas de hormigón (lo cual es inexacto, pues varios de los informes se refieren a presas de mampostería).

A su vez estos apartados se subdividen en:

### ▼ aspectos legales:

- clasificación por coeficiente de riesgo
- datos estadísticos y su análisis

### ▼ presas de materiales sueltos:

- avenida de proyecto y capacidad del aliviadero
- observación de los desplazamientos y su interpretación
- observación y control de las filtraciones
- evaluación de la seguridad y medidas correctoras

### ▼ presas de fábrica:

- evaluación de la seguridad y observación
- mejora de la seguridad

A pesar de lo dicho anteriormente sobre la imposibilidad de extraer conclusiones generales de un universo tan variado, se extraen cuatro:

▼ a) A medida que las presas envejecen las normas de seguridad se tornan más estrictas.



*Presa del Atazar.*

Se quiere significar que las normas evolucionan con el estado del arte, y que las autoridades competentes siempre exigen que se cumplan las últimas disposiciones. (En el caso de España, como se sabe, esto no es totalmente cierto.)

▼ **b) Seguridad hidrológica, con respecto al riesgo de vertido por coronación y mejora de la capacidad de evacuación.**

Se comentan varias posibles vías de acometer tan espinoso problema, y se sintetizan en dos alternativas: el aumento de la capacidad del aliviadero o la puesta en práctica de un sistema de alerta y un plan de evacuación, dejando los dispositivos hidráulicos como están.

▼ **c) Observación del comportamiento de la presa.**

Las etapas básicas para verificar el nivel de seguridad de una presa son la inspección visual, la

lectura de los aparatos de auscultación y la interpretación de los datos. Se añade que la existencia de un modelo teórico de referencia, unido a un sistema de observación automático, puede confirmar la tendencia a largo plazo de la evolución de la respuesta de la presa a las solicitaciones a que está sometida. (Esta afirmación es cuando menos muy discutible, pues tal orientación sólo puede deducirse de un modelo estadístico, y, por otra parte, no vemos qué relación hay entre la instalación de un sistema automático de captura de datos y la confirmación de la susodicha tendencia a largo plazo.)

▼ **d) Modelos de elementos finitos usados para evaluar las condiciones de seguridad.**

Se subraya la capacidad creciente de dichas herramientas de simulación para intentar hacer una interpretación más racional de las observacio-

nes y una mejor apreciación de las condiciones de seguridad.

Con todo ello, se concluye proponiendo cuatro temas principales para la discusión:

- a) Observación y control de la seguridad en relación con las normas.
- b) Evaluación de la seguridad y medidas correctoras para las presas de hormigón fisuradas.
- c) Seguridad frente a las avenidas.
- d) Auscultación sísmica y evaluación de la seguridad.

### 2.3 CONCLUSIONES

En este punto se repiten las consideraciones generales anteriormente citadas sobre dificultad de sintetizar la variedad de temas concurrentes.

Tras un análisis conceptual muy interesante sobre el estado del arte en materia de seguridad de presas se concluye que no es posible por el momento, y no parece que vaya a serlo durante mucho tiempo, definir objetivamente un "coeficiente de seguridad" que tenga significado físico para una presa determinada. De la misma forma no parece posible determinar una "probabilidad de fallo" cuantificada. Las herramientas de que se dispone en el análisis estadístico actualmente no permiten abordar casos como los de las presas, que tienen una ocurrencia bajísima, y en los que se corre el riesgo de interpretar los resultados como probabilidades objetivas y no como relativas. Sin embargo la tendencia del público es a la primera de estas interpretaciones, que es la intuitiva, con lo que se produce el efecto contrario del deseado.

Con respecto a los tres temas incluidos en la definición del objetivo de la Q.68 se formulan las siguientes observaciones:

**▼a) Aspectos legales: experiencia adquirida por las autoridades reponsables de la seguridad y por los explotadores de las presas.**

El punto más interesante a resaltar es el de la inadecuación de una presa a la normativa en vigor un cierto tiempo después de su construcción. Aquí se hace una constatación: en ciertos casos,

que probablemente son muchos, la historia real de la presa desmiente las presuntas insuficiencias que se observan en el retroanálisis, lo que se explica por el exceso de conservadurismo que incluyen las normas, que deben cubrir los casos de proyectos nuevos en los que no se saben las características resistentes reales del conjunto presa-cimiento. En una presa en explotación desde hace un tiempo, por el contrario, se han experimentado situaciones reales de sollicitación y se han movilizadas capacidades resistentes "ocultas", que, en principio, no están previstas en las normas. Por ejemplo, una presa de gravedad tiene planta curva, lo que produce un cierto efecto de cuña, suficiente para haber soportado sin daño situaciones de carga reales mayores que las que se asumirían en un diseño de la estructura como nueva. Esto debe ser tenido en cuenta al analizar periódicamente la seguridad de presas existentes.

La conclusión de este punto es que se debe distinguir entre cumplir unas normas y alcanzar un cierto nivel de seguridad. Como corolario se recomienda que no se clasifiquen las presas por su nivel de seguridad, sino por los efectos que su fallo lleva aparejados (lo que, como es bien sabido, es la opción de la nueva normativa española).

El otro punto que subraya es la variedad de criterios existentes a la hora de redactar unas normas de seguridad de presas. En países de escasa densidad de población se llega a adoptar esquemas legales en los que se pide la intervención de todas las partes afectadas, lo que sería impracticable en otros altamente industrializados y densamente poblados, en los que hay una fuerte delegación de capacidad de decisión hacia las autoridades, con una consulta pública de alcance limitado. Se llama la atención sobre el hecho de que no todos los países que tienen presas han puesto en vigor una normativa sobre ellas. A pesar de ello se concluye (tal vez de manera optimista) que en el futuro se va a producir una convergencia de criterios en este campo.

**▼b) Evaluación de la seguridad: casos reales, resultados y conclusiones.**

**▼c) Mejora de la seguridad: casos reales, incluyendo aspectos económicos.**

Estos dos puntos se tratan conjuntamente. Se vuelve a insistir en la dificultad, o imposibilidad, de

valorar de una forma cuantitativa el nivel de seguridad. Se subraya también la importancia que en todo el mundo se concede a la observación, vigilancia y control del comportamiento de las presas, por medio de la adecuada instrumentación, completada con un modelo de referencia que permita apreciar, al menos cualitativamente, el funcionamiento satisfactorio de aquellas.

Finalmente se resumen los casos descritos en las ponencias en dos apartados, según se refieren a presa de fábrica o a presas de materiales sueltos.

Para las primeras se indica que los factores que aparecen como más destacados a la hora de evaluar la seguridad son: subpresión, solicitaciones sísmicas, fisuración, avenidas máximas, expansión del hormigón y los problemas de cimentación. En el caso de las estructuras de materiales sueltos la lista incluye: inestabilidad estática de los taludes de la presa, problemas de percolación, tanto en la presa como en el cimiento, evolución de las presiones intersticiales, deterioro del paramento aguas arriba o resguardo insuficiente frente a la acción del oleaje, fracturación hidráulica del núcleo impermeable, erosión interna, desbordamiento por coronación, debida bien a capacidad insuficiente del aliviadero, bien a la acción del oleaje, bien a asentamiento del cuerpo de presa y, finalmente, licuefacción bajo acción sísmica.

De todos estos factores se hace un resumen de las experiencias recogidas en las ponencias, incluyendo las medidas de adecuación que en cada caso se han puesto en práctica y los resultados disponibles por el momento.

Como conclusiones finales se indican siete:

- 1) La atención muy particular que es preciso dar al primer llenado del embalse.
- 2) La complejidad de la relación entre la presa y su cimiento.
- 3) La atención creciente a las consecuencias de fenómenos de periodo de retorno muy grandes, como la PMF o el MCE.
- 4) La tendencia a intentar que todas las presas, tanto las de nueva construcción como las ya existentes, tengan un nivel de seguridad homogéneo.
- 5) La creciente toma de conciencia de los poderes públicos en relación con la seguridad de las presas.

6) La gestión eficaz de la seguridad con una atribución clara de las responsabilidades.

7) El gran progreso realizado en la comprensión del comportamiento de las presas y en la interpretación de las observaciones que se obtienen en ellas.

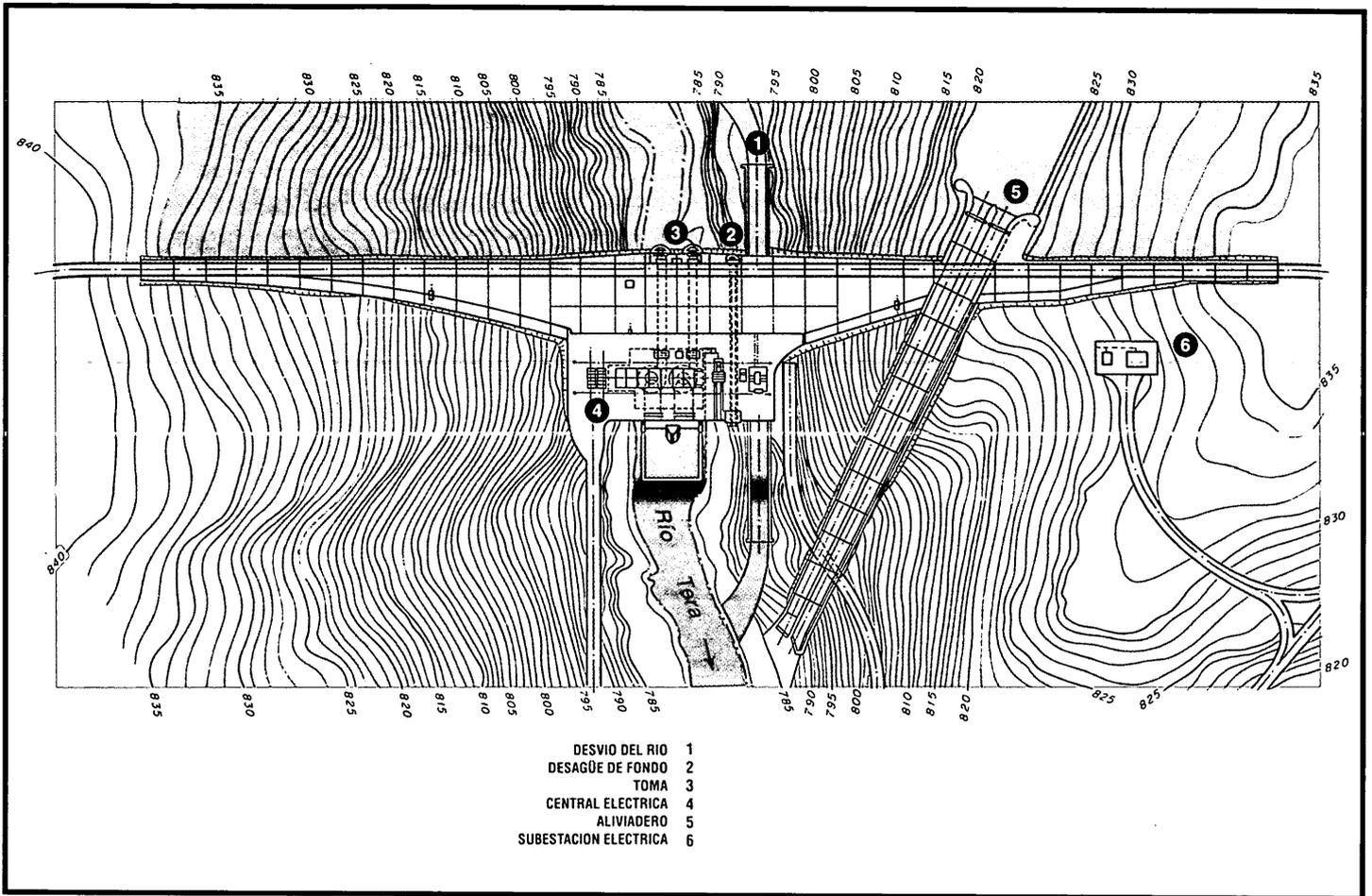
### 3. COMUNICACIONES ESPAÑOLAS A LA Q-68

Se presentaron ocho informes por autores españoles, que se comentan brevemente a continuación.

▼ F. Blázquez Prieto y J. A. García Pérez describen las actividades realizadas en la presa de El Atazar en los últimos años, entre las que destacan el empleo de tres técnicas novedosas. Son éstas la medición de los movimientos por medio de distanciómetría submilimétrica, la reparación del paramento aguas arriba mediante el sistema de inmersión presurizada hasta la saturación, lo que permite trabajar largos periodos de tiempo a profundidades considerables, y el uso de un modelo determinista para la predicción de movimientos.

▼ J. I. Díaz-Caneja describe los trabajos de mejora de la seguridad desarrollados en varias presas de la cuenca del Duero. Se trata de las presas de La Cuerda del Pozo y del Arlanzón, que se encontraban en una situación de deterioro importante y que han requerido una reparación sustancial, y las presas del sistema Carrión-Pisuerga, concretamente las de Cervera, Camporredondo, Requejada, Compuerto y Aguilar, en las que se han mejorado los sistemas existentes, se han instalado aparatos de auscultación y se han realizado labores de refuerzo, consolidación e impermeabilización y drenaje.

▼ E. Alonso, A. Gens, I. Carol, P. Prat y E. Herrero presentan un estudio del mecanismo de rotura tridimensional del estribo de una presa bóveda. Es otro subproducto de la inagotable cantera de Canelles. Se propone el uso de dos coeficientes de seguridad, uno relativo a la mayoración de los esfuerzos actuantes sobre la presa y sobre la pantalla de estanqueidad, y el otro relacionado con la minoración de los parámetros resistentes a lo largo de las discontinuidades. (Novedad absoluta, al menos para la memoria de quien escribe es-



**Presa de Valparaíso.**

te informe, es que se ha publicado en los libros de actas con algunas ilustraciones en colores.)

▼ A. Gil describe la automatización del sistema de auscultación de la presa de Valparaíso, que permite, en principio, seguir el comportamiento de ciertos parámetros de la estructura desde un lugar tan remoto como la oficina del autor en Salamanca. Se trata de un programa piloto, que se pretende extender a otros casos similares y que ha necesitado el desarrollo de una metodología de aplicación posible a cualquier presa.

▼ R. del Hoyo y A. Gutiérrez estudian la evaluación de la seguridad de las presas de hormigón, que, en su opinión, se debe basar en la medida de parámetros característicos por medio de dispositivos de auscultación, el estudio de la evolución en el tiempo de dichos parámetros, la aplicación de modelos matemáticos y las inspecciones visuales. Se citan los casos de las presas de Los Peares, Belesar, Salas y Castrejón, en todos

los cuales se han detectado anomalías en su comportamiento y se han acometido trabajos para remediarlas.

▼ J. Martín Morales y A. Alcaraz han estudiado, con el amor y la atención que el caso requiere y su texto deja traslucir, la historia y la situación presente de la presa de Proserpina. Tras describir la primera, se explican las actividades llevadas a cabo para mejorar la segunda, de forma que la singular obra entre en su tercer milenio de funcionamiento continuado con la lozanía y arrogancia con que ha pasado los últimos veinte siglos, para lección de desorientados.

▼ J. Cajete, C. Delgado y S. Paz describen el uso de inyecciones de resinas sintéticas para la mejora de la seguridad de las presas. Se trata de unas consideraciones sobre las formulaciones, las condiciones de empleo y los controles a realizar en las obras para conseguir que los resultados sean los perseguidos.

▼ I. Lázaro, M. Rubín de Celis y R. Fernández Cuevas escriben sobre la seguridad de la presa del Pontón Alto durante su primer llenado. Este, por razones que se detallan en el texto, hubo de hacerse relativamente deprisa, lo que exigió un seguimiento intenso de las observaciones de la auscultación de la estructura y su cimientado. (Sería interesante que los autores, en algún momento futuro, pudieran confirmar el buen funcionamiento que presumen de la obra, especialmente en lo referente a la evolución de las subpresiones.)

#### 4. DESARROLLO DE LAS SESIONES

Dado el gran interés que había suscitado el asunto seleccionado como Q-68 y el altísimo número de comunicaciones recibidas, se decidió dedicarle tres sesiones, en vez de las dos habituales, que se desarrollaron a lo largo de la tarde del martes y todo el miércoles. Ofició de Presidente Donald E. Bowes (USA), asistido por dos vicepresidentes, A. Goubet (Francia) y F. M. G. Budweg (Brasil) y un secretario de sesión, C. Van den Berg (Sudáfrica). El relator general, según ya se ha indicado, era M. Fanelli.

Ante la amplitud del tema se decidió dividirlo en cuatro apartados, que se tratarían separadamente, si bien la introducción general y el intento de establecer algún tipo de conclusiones se realizó de forma global por el relator general. Las sesiones se desarrollaron con normalidad, con la única excepción del comienzo de la sesión de la mañana del miércoles, en que, por razones inexplicadas, se reservó un turno especial para una presentación por parte del Comisionado del Bureau of Reclamation, que, independientemente de lo bochornoso de su contenido, no tenía relación perceptible con la Q-68.

Los cuatro apartados para la discusión fueron:

▼ a) Control de la seguridad y auscultación de acuerdo con las disposiciones reglamentarias, concretamente comparando la presencia humana continua en el emplazamiento con sistemas de vigilancia automáticos. Aspectos económicos.

▼ b) Evaluación de la seguridad y medidas correctoras para las presas de fábrica fisuradas, teniendo en cuenta las cargas estáticas, dinámicas y térmicas.

▼ c) Seguridad hidrológica: Cómo revisar el valor de la avenida a tener en cuenta para redimensionar eventualmente los dispositivos de evacuación. Reflexión sobre la instalación, en zonas poco pobladas, de dispositivos de alerta suficientemente rápidos para evitar el aumento de la capacidad de los aliviaderos. Aspectos económicos.

▼ d) Auscultación sísmica y reevaluación de la seguridad sísmica con utilización de datos reales para tarar o validar los modelos matemáticos y tener en cuenta los efectos no lineales de grandes sacudidas; detección, en tiempo real, de los daños originados por los terremotos.

Tras la intervención del relator general, que se limitó a leer su informe, subrayando alguno de los puntos que más arriba se han señalado, se pasó a las intervenciones, que, de acuerdo con el modelo de desarrollo de las sesiones que se había seleccionado para este congreso, se habían clasificado en tres grupos. Las llamadas intervenciones principales, a las que se concedían entre doce y quince minutos, las intervenciones preparadas, de unos seis minutos, y la discusión general desde la sala, donde se permitían alrededor de dos minutos por orador. Estaba previsto que las dos primeras, cuyo texto se debía entregar con antelación suficiente a la secretaría de la sesión, se pudieran hacer en francés, inglés y, por primera vez, español. En realidad, se produjeron intervenciones espontáneas desde la sala en español, que, gracias a la gran calidad de la traducción simultánea, no presentaron problema alguno y la sesión discurrió con total fluidez, sin que el presidente hiciera ninguna advertencia, como sí sucedió cuando un orador intentó responder en alemán a una pregunta de la sala, puesto que la traducción simultánea no incluía la posibilidad de interpretación de dicho idioma a los otros. La suerte de nuestro idioma se vió sin duda muy favorecida por el hecho de ser el presidente de la sesión norteamericano, o, mejor dicho, por no ser francés, ya que ahora existe un precedente totalmente satisfactorio de utilización libre del español en un congreso de la CIGP, que se debe consolidar en el futuro, siendo el próximo a celebrar en Florencia en 1997 la ocasión idónea para que la seguramente masiva participación española se exprese abundante y, esperemos, docilmente en nuestra lengua.

▼ El primero de los apartados arriba citados tuvo cuatro intervenciones principales y ninguna



**Presa de Proserpina.**

preparada, pero suscitó una animada discusión en el turno abierto a la sala.

Rompió el fuego de la sesión precisamente un español, Fernández Cuevas, con una presentación muy original sobre cómo el hecho de que el propietario de una presa sea una Caja de Ahorros aporta una visión nueva al tema de la seguridad y sus aspectos económicos. En el caso de la presa de Los Angeles de San Rafael se está intentando relacionar el tema de un seguro de daños a terceros y de daños propios con los sistemas de auscultación y vigilancia, si bien de su exposición se deducía que el asunto no estaba aún cerrado. Goguel (Francia) se refirió al caso de la presa de Katsse, en Lesotho, una bóveda de doble curvatura de 185 m. de altura. Llamó mucho la atención el complicadísimo sistema de galerías y el no menos complicado sistema de auscultación, que nos trajo recuerdos de alguna presa construida en nuestro país hace unos veinticinco años, con los resultados de todos conocidos. Poupart (Francia) disertó

sobre la "rectificación" de las lecturas obtenidas en los aparatos de auscultación para que se adapten mejor a las previsiones de un modelo teórico, lo que, en su opinión, permite aumentar la seguridad. Masera (Italia) explicó las características de un sistema supuestamente experto para el análisis de la seguridad de la presa de Ridracoli, basado en ajustar paramétricamente un modelo determinista a lo registrado por los aparatos de auscultación. El ajuste se realizó en 1992 y los resultados que mostró permiten observar que hay una buena concordancia entre ambas curvas para fechas anteriores, lo que era natural esperar, mientras que se registran 80 casos de desacuerdo desde dicha fecha, que, según el orador, eran todos errores de los aparatos de lectura, y nunca de su modelo.

La discusión abierta la comenzó Laffite (Suiza), explicando que en su país se está preparando una ley de seguros para presas similar a la que existe para centrales nucleares. Por otra parte parece que las compañías de seguros rehusan asegurar

las presas que no tienen un nivel adecuado de vigilancia. Viotti (Brasil) propuso que se incluyera el concepto de seguridad de la explotación en los casos previstos en el informe del relator general, de forma que se tratara siempre de seguridad frente a coste, tanto en proyecto como en construcción y en explotación. A esto respondió el relator general que sería impropio utilizar la palabra seguridad para referirse a la diferencia entre los resultados de explotación reales y los deseados. Sahdi (Argelia) relató el caso de una presa de 100 m. de altura que ha sufrido un terremoto cercano y en la que se registró un asiento de 10 cm. de golpe. Pidió opiniones sobre el riesgo que se corre, pues confesó que estaban algo desorientados. Ante el silencio de la sala, el presidente se lanzó al ruedo y expresó su opinión de que un asiento de esa magnitud no es preocupante en sí, siempre que no haya asientos diferenciales importantes. A continuación se desarrolló una interesante discusión sobre varios aspectos relacionados con la auscultación, que, aún no siendo estrictamente novedosos, no viene mal que se recuerden siempre que surja la ocasión. Así Hagin (Suiza) y Blaick (USA) se preguntaron por la fiabilidad a largo plazo de los aparatos inaccesibles, Sims (Reino Unido) inquirió sobre el supuesto ahorro de personal que se obtiene al instalar muchos medidores y varios oradores de distintos países afirmaron su convicción de que en muchos casos se están instalando demasiados. De estas intervenciones y de las respuestas dadas por el panel de ponentes se concluye que, en efecto, la accesibilidad es una cualidad a tener en cuenta, que no hay relación real entre la instalación de aparatos y una reducción de personal y que sólo en los casos de presas muy importantes es recomendable la redundancia de medidores, siendo en general preferible escoger aquellos que sean integradores, que cubran un mayor campo, por ejemplo se dijo que es mejor instalar un péndulo que varios clinómetros.

▼ El segundo apartado reunió cuatro intervenciones principales (estaban previstas cinco, pero un desgraciado incidente "in itinere" nos privó del placer de escuchar a nuestro compatriota Marco, al que le fueron sustraídos en Johannesburgo los documentos preparados para su presentación), seis intervenciones preparadas y, como siempre, una animada discusión abierta.

Cajete (España) se refirió a su contribución escrita, que ya se ha comentado, añadiendo como

dato concreto que el coste de las resinas sintéticas para inyecciones en presas puede estar entre 10 y 18 dólares por litro. Fernández Cuevas (España) explicó varias razones por las que se han fisurado varias bóvedas recientes en España, citando entre ellas la inyección de las juntas. Goguel (Francia) relató el caso, ya bien publicado, de la presa de Chambon y la expansión de su hormigón, así como los cortes realizados en la estructura para relajar el fenómeno. Haws (Reino Unido) se refirió a un caso de expansión de hormigón, el de la presa de Val de la Mare, que, a pesar de lo que su nombre pueda sugerir, se encuentra en la isla de Jersey, en el canal de La Mancha. Parece que el fenómeno observado se ha detenido por sí mismo, pero existen dificultades para casar los resultados de las observaciones realizadas por medio de la tomografía con los derivados de otros procedimientos de control.

En la discusión subsiguiente se suscitó una pequeña polémica entre el citado Goguel y Charwood (Canadá), sobre cómo se realizan los cortes en el hormigón para relajar las tensiones desarrolladas por la expansión, indicando el segundo la importancia de una velocidad de corte suficientemente baja, debido a la gran fluencia que se observa en el hormigón en esas condiciones. Ad Adama (Burkina Faso) interrogó a Cajete sobre la durabilidad de las resinas en países de clima cálido y seco como el suyo, a lo que éste respondió indicando que la alta temperatura no es un inconveniente por problemas de duración, pero sí puede serlo por problemas de puesta en obra, lo que se puede obviar escogiendo formulaciones que no tengan elementos volátiles. Carrer (Francia) quiso saber si hay ejemplos concretos de fisuración en bóvedas en España inducida por la inyección de las juntas, a lo que Fernández Cuevas respondió que la inyección por sí misma no causa fisuración, sino que modifica la situación tensional de la presa y es un factor a tener en cuenta. Gil (España) quiso saber si al impermeabilizar el paramento de la presa de Chambon se ha observado disminución de la expansión, a lo que Goguel respondió que la membrana instalada no impermeabiliza el paramento, pero no explicó suficientemente, al menos para el autor de este informe, el efecto buscado con dicha membrana.

Entre las intervenciones preparadas se dió la curiosa circunstancia de que tres de ellas se referían a presas de materiales sueltos. Johansson

(Suecia) describió el problema de la presa de Porjus, de escollera con núcleo de morrena, que sufrió una erosión interna y fue equipada con un sistema de auscultación específico para el caso. Kramer (USA) leyó una comunicación de su compatriota Jansen sobre la presa de Logan Martin, que también sufrió de erosión interna y en la que se constató, en la oportuna investigación, que la construcción no había respetado lo indicado en los planos de proyecto, por lo que subrayaba la importancia de los planos "as built" para facilitar los análisis futuros en todos los casos. Sharma (USA) relató el caso de la presa de Boundary, una bóveda que ha sido equipada con aparatos años después de su puesta en servicio. Aparecieron unas grietas diagonales, se hicieron estudios por medio de modelos de elementos finitos, y la conclusión fue que, como la presa estaba segura, había que dejarse de buscar las razones de la fisura y concentrarse en instrumentarla adecuadamente para observar su evolución. Guillaud (Francia) disertó sobre microinyecciones que describió como "de dentista" y su aplicación al caso de la presa de Pont du Roi, una bóveda próxima a Lyon, y el empleo del método GIN, de criterios de presión en las inyecciones, de Lombardi y Deere. El crédito que tienen los congresos de grandes presas como foros en los que se identifica la publicidad comercial con la exposición que suele haber en el vestíbulo del edificio donde se celebran no aumentó con esta intervención. Heigerth (Austria) describió los casos de las presas de Zillergundl, que tuvo la grieta típica de las bóvedas altas en el pie de aguas arriba, y de Kolnbrein, ya muy conocido, sobre la que aportó la información de que el funcionamiento de la solución finalmente construida parece ser satisfactorio por ahora. Charlwood expuso la metodología desarrollada en Canadá en los casos de expansión del hormigón y su contraste con las experiencias reales que allí se han dado. Finalmente Caron (Canadá) describió unos ensayos de laboratorio para la caracterización de ciertos revestimientos de mampostería en los paramentos de las presas del complejo de la bahía James.

En la animada discusión que vino a continuación se produjo la intervención de Pujol (Argentina), que se interesó por varios detalles de la fisura inyectada en la presa de Pont du Roi, entre ellos el espesor de la misma, así como por la formulación del material inyectado. La respuesta de Guillaud fue que no podía describir la fisura ni indicar su

espesor porque no había estado nunca en la presa, aunque sí tenía los datos de la formulación, que fue de una parte de cemento y tres de agua, empleándose cemento Portland con adición de superfluidificante. Sims intervino para describir un caso de una presa en Kenia, cuyo nombre no dió, en la que van a reducir las medidas de aparatos por considerarlas excesivas, e intentar hacerlas manejables, y Fernández Cuevas se refirió a la procedencia del álcali que aparece en algunos casos de reacción AAR.

▼ El tercer apartado reunió cinco intervenciones principales, cuatro preparadas y la consabida discusión general.

Lemperière (Francia) glosó un método de terminación de avenidas de proyecto de forma expedita en cuencas de pequeña superficie, así como ciertas medidas, de reducido impacto económico, para mejorar la capacidad de desagüe. Serrano (España) planteó el tema de los estudios económicos de comparación entre aliviaderos con y sin compuertas, y lo ilustró con un ejemplo en el que, curiosamente, el resultado del análisis es irrelevante en la decisión final. Berga (España) expuso una serie de consideraciones generales sobre la seguridad hidrológica y presentó los conceptos incluidos en la nueva norma española. Cochet (Francia) relató el caso de la presa de La Rive, de mampostería, construida en 1870, en el que la revisión de la avenida de proyecto prácticamente impone la demolición de la obra. En las fechas del congreso no se había alcanzado una solución, entre las varias alternativas propuestas para evitarlo. MacDonald (Australia) describió los sistemas de alarma diseñados para las presas existentes en Nueva Gales del Sur. La idea era reducir el coste de adaptación de los aliviaderos por medio de unos dispositivos de previsión y alerta. Se produjo un movimiento de protesta de la población y no hubo más remedio que ejecutar las obras de modificación, muy costosas. Actualmente han diseñado unos criterios probabilísticos que esperan que sean aprobados por los residentes en la zona.

Desde la sala intervino Laffite para dudar del funcionamiento de los aliviaderos con control y preguntarse por la probabilidad de fallo de una compuerta. Varios oradores se manifestaron en uno u otro sentido, siendo la intervención más destacada la de Cassidy (USA), que, con un enfoque sumamente práctico, se decantó por los sis-

temas de predicción en tiempo real, que ayudan a que las cosas funcionen, mientras que, en su opinión, los análisis de riesgo no ayudan a tomar las decisiones operativas necesarias en el momento oportuno. Su exposición fue apoyada por Berga, con lo que es fácil predecir por dónde van a discurrir las recomendaciones de los próximos boletines de la Comisión Internacional en materia de seguridad hidráulica. Aisiks (Argentina) expuso el caso del río Paraná, en el que las avenidas registradas entre 1970 y 1990 han sido superiores a las que se presentaron entre 1905 y 1970. Por ello recomendó la adopción de aliviaderos fusibles siempre que ello sea posible. White (Sudáfrica) se preguntó por quién debería pagar los costes de reformar los aliviaderos cuando el aumento de la avenida de proyecto se debe a cambios en el uso de los suelos aguas arriba de la presa.

Entre las intervenciones preparadas Duband (Francia) disertó sobre cómo revisar el valor de la avenida que se ha empleado para redimensionar un aliviadero existente. Brandesten (Suecia) presentó los aspectos generales del tema en su país y los criterios que se están siguiendo para revisar las avenidas de proyecto. Bremen (Suiza) expuso el caso de la presa de Contra, bóveda muy conocida por otras razones, no siendo la menos importante de ellas la belleza de su emplazamiento y de su diseño. Parece ser que la estación de aforos, cuyos datos sirvieron para el dimensionado del aliviadero, no estaba bien tarada, de forma que el caudal a evacuar tuvo que ser corregido, pasando de 1000 m<sup>3</sup>/s a 1600 m<sup>3</sup>/s. Fue necesario remodelar las pilas y el puente que discurre sobre el vertedero para dar paso al caudal aumentado. Keller (Sudáfrica) explicó las razones de la rotura de una presa de tierras en su país, a los seis meses del comienzo de su puesta en carga. El proyecto incluía un aliviadero en pozo a través del cuerpo de la presa, y el colapso se debió a erosión interna, consecuencia de un error de proyecto y de fallos de construcción.

La discusión abierta recogió las opiniones de Paolina (Italia), Viotti (Brasil) y Strassburger (USA), sobre las razones por las que se producen fallos en las compuertas y los procedimientos de mejorar su funcionamiento. Todos ellos coincidieron en la importancia de las consignas de explotación, así como lo conveniente de disponer de varias fuentes de energía. El último, además, subrayó el problema de los cuerpos flotantes que siempre se

presentan en una avenida, recomendando que no se hagan los puentes sobre los vertederos muy robustos, pues se favorece que se obstruyan en los primeros momentos del vertido.

▼ El cuarto y último apartado a discutir reunió cinco intervenciones principales y tres preparadas, además de un intenso debate en el primer turno abierto a la sala.

Fry (Francia) expuso un procedimiento de validación de modelos numéricos que tienen en cuenta efectos no lineales. Mazza (Italia) detalló el programa que se está siguiendo en su país de recálculo sísmico de ochenta y ocho presas. Indicó algunos ejemplos en los que la presa correspondiente no pasaba el cálculo lineal elástico, pero sí otro cálculo no lineal. Serrano citó un programa de análisis en tiempo casi real después de un sismo. Viotti expuso que, si bien su país es zona asísmica, ha habido varios casos de sismos inducidos, todos ellos con aceleraciones muy bajas, del orden de 0,01 g. No ha sido posible encontrar ninguna correlación de dicha sismicidad con altura de las presas, volumen embalsado, geología de la zona, tiempo de llenado ni ninguna otra magnitud. Johnston (Reino Unido) describió la reparación efectuada en una presa escocesa de gravedad, en la que se construyó un espaldón de escollera mayor que la estructura original, y en el que dos métodos de análisis numérico dieron resultados diferentes.

La discusión libre comenzó con la intervención de Haws, que expuso el impacto causado por la promulgación de la nueva, y muy conservadora, Guía Sísmica de Presas en el Reino Unido. Barceñi (Suiza) polemizó con Fry sobre la imposibilidad de modelizar por medio de mecánica continua un medio discontinuo, poniendo de manifiesto que, en el caso de grandes deformaciones, hay problemas de convergencia. Aka (Paquistán) quiso saber si en el recálculo de presas italianas se había tenido en cuenta el MCE, y si ello aumentaría sustancialmente el coste de las medidas de seguridad a tomar posteriormente. Ante lo inconcreto de la respuesta de Mazza, intervino Fanelli, que explicó que el propio concepto de MCE no está definido con precisión, por lo que solamente en un estudio caso por caso se podría hablar de aumento de coste, pero que, en principio, ellos son partidarios de incluirlo, si bien no lo han hecho todavía. Noquera (Chile) se extendió sobre las observaciones sísmicas en las presas chilenas, donde, por cierto,

no se ha registrado sismicidad inducida. A continuación indicó que el análisis dinámico de las presas no es obligatorio, salvo si lo exige el Banco que financia la obra. Otros oradores pusieron de manifiesto que las zonas sísmicas no las conoce nadie con certeza, y que con frecuencia no hay criterios para adivinar sus límites.

En el turno de intervenciones preparadas Stötzner (Austria) hizo una bastante oscura disertación sobre cómo investigar los deslizamientos de laderas en embalses por medio de fonocaptadores. Por el contrario, Bravo (España) hizo una brillante y provocativa intervención en la que puso en duda la existencia misma del fenómeno de la fracturación hidráulica en núcleos de material heterogéneo. Indemar (Irán) relató el caso de una presa de contrafuertes que, tras la ocurrencia de un sismo equivalente al MCE, presenta unas fracturas horizontales, siguiendo las tongadas y un poco inclinadas en las cabezas de los contrafuertes, nada sorprendentes.

El turno abierto a la sala, tal vez debido a la larga duración de la sesión y a la fatiga claramente perceptible en los asistentes, o puede ser que por el esoterismo del tema, ofreció pocas intervenciones. Tras un intento de discutir en alemán los deslizamientos de laderas de embalses, cortado de raíz por el presidente de la sesión, intervino Gillian (Nueva Zelanda) para poner de manifiesto que un problema que ocurre en su país es que el personal de explotación de las presas se asusta cuando ocurre un sismo, y no responde correctamente, llegando a abandonar el emplazamiento en algunos casos. Cerró la discusión, y la sesión, Fanelli explicando que las presas, a diferencia de otras estructuras, como los puentes o los edificios, resisten bien la acción sísmica, porque están diseñadas para soportar fuerzas horizontales, se adaptan bien a las altas deformaciones y se salen de la zona de resonancia.

Dada la heterogeneidad de los temas tratados, no hubo propiamente unas conclusiones finales por parte del relator general, remitiendo a lo indicado en su informe. ●

**Leasin**



**Informática**

*Líder en Informática Técnica S. L.*

**IMPORTADOR Y DISTRIBUIDOR  
PARA ESPAÑA DE LAS FIRMAS**

**WACOM**

*Líder mundial en tabletas Digitalizadoras tecnología GIVE & TAKE, sin cables ni baterías, tanto para PC como para MAC.*



*como novedad ARTPAD la tableta más pequeña del mercado hoy, y COMPUTER PRODUCTS A G primera firma de tecnología alemana en tarjetas aceleradoras, captura de vídeo, TV, sonido, etc., tanto en el entorno de Windows como para Macintosh*

**INFORMACIÓN Y PEDIDOS:**

**Cooperativa Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.**

**Leasin**

Mar Adriatico, 13  
Tel.: 351 11 96. Fax: 351 12 47.  
28224 POZUELO DE ALARCÓN

Cristobal Bordiu 19-21  
Tel.: 533 82 06. Fax: 533 82 40  
28003 Madrid

**SERVIMOS A DOMICILIO**