

# Q-65: Envejecimiento de presas y métodos de reparación

Por **RODRIGO DEL HOYO**

Ingeniero de Caminos.  
Vocal del Comité Español de Grandes Presas.

**LUIS BERGA CASAFONT**

Ingeniero de Caminos.  
Vocal del Comité Español de Grandes Presas.

## ANTECEDENTES

El tema de la Q-65 elegido para el XVII Congreso Internacional de Grandes Presas que se celebró en Viena, del 17 al 21 de junio de 1991, fue el de ENVEJECIMIENTO DE PRESAS Y MÉTODOS DE REPARACION. Para la presentación de trabajos se eligieron los siguientes cuatro subtemas:

- a) Métodos de detección del envejecimiento.
- b) Análisis de los procesos de envejecimiento y de sus consecuencias.
- c) Métodos de reparación para luchar contra el envejecimiento.
- d) Medidas preventivas en el proyecto, construcción y explotación para limitar los procesos de envejecimiento.

En este artículo del número especial de la Revista de Obras Públicas dedicado al Congreso de Viena, se presenta un resumen del Relator General (R.G.) que fue realizado por Mr. Jacques Combelles de Electricite de France. También se reseñan las aportaciones españolas a este tema del Congreso, y finalmente se hace una descripción de las Sesiones de la Q-65 que tuvieron lugar los días 18 y 19 de junio, detallando los temas de discusión y las diversas intervenciones.

## RELATOR GENERAL (R.G.) Q-65

El R.G. precisa en su introducción el concepto de envejecimiento definiendo que se entiende por envejecimiento las modificaciones en el tiempo de las propiedades geométricas, físicas, mecánicas, hidráulicas, térmicas, etc., de una presa que afectan a su seguridad. Da pues una definición "restrictiva", ya que relaciona el envejecimiento solo con los cambios que afectan a la seguridad de las presas.

El desarrollo del R.G. se divide en seis apartados:

1. Análisis de las comunicaciones presentadas.
2. Descripción de los procesos de envejecimiento.
3. Métodos de detección y control del envejecimiento.
4. Métodos de reparación.
5. Medidas de prevención del envejecimiento.
6. Conclusiones.

## 1. ANALISIS DE LAS COMUNICACIONES PRESENTADAS

Se presentaron un total de 74 comunicaciones, procedentes de 27 países. 17 de ellas se referían a aspectos generales, 38 fueron descripción de casos, y las 19 restantes versaron sobre revisiones generales con ejemplos significativos. Los comentarios globales sobre estas comunicaciones son los siguientes:

- La mayor parte de los trabajos presentados se refieren a presas de hormigón y de mampostería, que producen más problemas de envejecimiento que las de materiales sueltos.
- Se han presentado pocas comunicaciones referentes al envejecimiento de las obras llamadas "anexas" (válvulas, aliviaderos, compuertas, etc.).
- Los escenarios preferenciales de envejecimiento, es decir los que ocurren con mayor frecuencia o son más importantes son:
  - La reacción alcali-árido (RAA).
  - El ataque al cuerpo de la presa por aguas agresivas, simultáneamente o no con la acción del hielo.
  - Las alteraciones de los núcleos de estanqueidad en las presas de materiales sueltos.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE ENVEJECIMIENTO

Los procesos de envejecimiento el R.G. los analiza siguiendo la división en los siguientes conceptos: 1) Cimentaciones, 2) Obras de hormigón, 3) Presas de materiales sueltos y 4) Obras anexas.

**2.1. Con relación al envejecimiento del cimiento describe la tipología clásica de la disminución de la capacidad del material de la cimentación y de la pérdida de las características de los sistemas de impermeabilización y drenaje**

### 2.2. Envejecimiento del hormigón

El envejecimiento del hormigón, que ocupa gran parte del trabajo del R.G. puede presentarse bajo los cinco aspectos siguientes:

- 2.2.1. Inestabilidad dimensional.
- 2.2.2. Lixiviación del hormigón.
- 2.2.3. Acción del hielo.
- 2.2.4. Fisuración.
- 2.2.5. Envejecimiento debido al pretensado o postensado de anclajes.

#### 2.2.1. *Inestabilidad dimensional*

La inestabilidad dimensional es debida a retracciones o expansiones del hormigón que pueden prolongarse durante muchos años. Esta problemática es más frecuente de lo que se piensa habitualmente y viene referida en gran número de comunicaciones que no presentan ninguna distribución geográfica preferencial.

Las retracciones mencionadas en las comunicaciones, se refieren fundamentalmente a presas arco o de contrafuertes y son debidas a la fluencia o a la retracción del hormigón.

En cuanto al fenómeno expansivo de hormigón tiene por causa general la RAA. Este es un tema importante en la explotación de las presas y que hay que controlar, ya que ha dado lugar a problemas graves e incluso al abandono de varias obras.

Originalmente se creía que la RAA estaba limitada al alcalí del cemento que reacciona con la sílice amorfa de los áridos, pero actualmente se ha encontrado que por una parte la sílice puede estar en

forma cristalina y que también los alcalis pueden proceder de los mismos áridos. Así, el parámetro significativo a tener en cuenta es el "contenido total en alcali". La cronología del proceso se inicia con la formación de un gel de sílice expansivo que produce una presión hidrostática creciente que se superpone al estado tensional inicial. A medida que aumenta la presión debido al gel se forman microfisuras en la pasta de cemento en las direcciones de no confinamiento, según las cuales las deformaciones ligadas a la fisuración pueden producirse. En las presas estas direcciones son en primer lugar la vertical, y en cierto grado las de aguas arriba-aguas abajo. La formación de estas fisuras, junto con la penetración del agua, dan lugar a espacio en la pasta de cemento por los que pueden progresar la ocupación y formación del gel, lo que produce una progresión del fenómeno expansivo. Debido a estos procesos y al confinamiento del hormigón en la presa las características de la expansión son muy anisótropas y pueden dar lugar a deformaciones de diversos tipos.

Las RAA son generalmente fenómenos continuos y progresivos, y con controles y medidas de corrección muy problemáticas. Su signo comúnmente observable son la fisuración superficial y los movimientos de coronación. (NOTA: Para una mayor información puede consultarse el Boletín número 79 de la ICOLD. "Alkali-Aggregate reaction in concrete dams. 1991).

#### 2.2.2. *Lixiviación del hormigón*

Son fenómenos debidos a la circulación de aguas agresivas a través del hormigón y al ataque de la cal libre y al carbonato de calcio del cemento.

#### 2.2.3. *Acción del hielo*

Se produce normalmente en presas antiguas y su causa esencial son los ciclos de hielo y deshielo del hormigón húmedo.

#### 2.2.4. *Fisuración*

La fisuración del hormigón es un síntoma y no necesariamente un proceso de envejecimiento. Puede ser causada por el envejecimiento como en la RAA pero en la mayor parte de las ocasiones es accidental y debida a un proyecto inadecuado, a la retracción inicial del hormigón o a las condiciones de la cimentación. Existen también otras cau-

sas más sistemáticas debidas a los ciclos térmicos diarios y estacionales que producen puntas de temperatura o gradientes térmicos que superan ciertos umbrales. Así pues, la fisuración es la traducción de una debilidad de la obra a soportar situaciones prolongadas o repetitivas. Es siempre una patología preocupante, pero en la realidad no tienen una influencia directa sobre la seguridad de la obra más que en la medida que impidan la transmisión de las tensiones cortantes. Indirectamente pueden afectar a la seguridad debido al cambio de las condiciones hidráulicas de la presa.

#### 2.2.5. *Envejecimiento debido al pretensado o pòstensado de anclajes*

En las comunicaciones presentadas se derivan problemas serios en anclajes antiguos con tirantes de cable que son vulnerables a la corrosión, o presentan relajaciones, defecto de adherencia, y fluencia del hormigón. La gravedad de este tipo de envejecimiento viene dada por el hecho de que se pueden desarrollar sin manifestaciones aparentes y dar lugar a roturas frágiles.

### 2.3. **Envejecimiento de las presas de materiales sueltos**

Según refiere el R.G. se han presentado muy pocas comunicaciones en relación con este tema. En los núcleos y cuerpos de presas homogéneas de tierra, los mecanismos principales generadores de las filtraciones son la fisuración del núcleo impermeable, el arrastre de finos debido a que el filtro de aguas abajo es inadecuado, o a que las tierras en presas homogéneas no tienen las características deseadas o los drenes no están bien dimensionados. Otras causas pueden ser las heterogeneidades, la fracturación hidráulica, la fisuración por desecación, y la insuficiente compactación en los contactos con las estructuras de hormigón.

En cuanto a las protecciones, pantallas, filtros y drenes, a pesar de su importancia, pocas comunicaciones se han presentado relativas al envejecimiento de estos elementos.

### 2.4. **Obras anexas**

Se refieren a los aliviaderos, cuencos de amortiguamiento, compuertas, válvulas, etc. Normalmen-

te se trata de una cuestión de envejecimiento de su concepto y diseño, en su mayor parte relativos a la evaluación de la avenida de proyecto. También hay que señalar que, a pesar de la importancia de los fenómenos de erosión de los aliviaderos y de envejecimiento de los elementos electromecánicos, pocas comunicaciones se han presentado en relación con estos temas.

Es raro, hay cantidad de casos de deterioro o no se consideran como envejecimiento.

## 3. **MÉTODOS DE DETECCIÓN Y CONTROL DEL ENVEJECIMIENTO**

El R.G. señala que en muchas comunicaciones se recalca la necesidad de la vigilancia y auscultación de las obras, con la interpretación periódica de los resultados. También es importante el empleo de métodos analíticos para discernir los procesos y deformaciones reversibles y de este modo poder detectar mejor los fenómenos de envejecimiento. Los métodos de detección que se describen (inspecciones y sistemas de auscultación) son en muchos casos los usualmente empleados, pero también se presentan nuevos métodos como son, entre otros, los extensómetros de fibras óptica, el empleo creciente de helicópteros y submarinos, y la termografía de infrarrojos. Una vez se ha detectado el envejecimiento, y para un mejor conocimiento del fenómeno, suelen realizarse investigaciones particulares y especiales como pueden ser la ampliación de los sistemas de auscultación, la extracción de muestras para análisis microscópicos, litológicos, químicos o resistentes, o diversos ensayos, "in situ". En las comunicaciones también se presentan métodos de análisis más novedosos como la tomografía acústica, la inspección por televisión de los sondeos de reconocimiento, y el uso cada vez más extendido de modelos numéricos tridimensionales no elásticos capaces de simular el proceso de fisuración.

En las cimentaciones los útiles fundamentales son los piezómetros y la medida de los caudales de las filtraciones, y una vez se ha detectado el envejecimiento se utilizan normalmente los métodos clásicos de reconocimiento de cimentaciones.

En cuanto al envejecimiento de las presas de hormigón la mayor parte de las comunicaciones se re-

fieren a fenómenos de retracción y a la RAA en presas de contrafuertes y bóvedas. En la mayor parte de los ejemplos presentados, el proceso expansivo debido a la RAA no se detectó precozmente y fueron la fisuración superficial del hormigón o los movimientos de coronación los que dieron la alerta durante la explotación.

Cuando la patología de la RAA se ha detectado el esquema general a seguir en la investigación del fenómeno es el siguiente: 1) Asegurar el diagnóstico exacto, 2) Conocer mejor el fenómeno, tanto en lo que se refiere a su localización como a su influencia en la seguridad de la presa, y 3) Prever y controlar la evolución futura. Para asegurar el diagnóstico es necesario el realizar en diversos testigos, análisis microscópicos, químicos y de difracción de rayos X. Para conocer mejor el fenómeno y delimitarlo puede ser necesaria la ampliación y mejora de la auscultación y la realización de rastreos microsísmicos, medidas esclerométricas o la ampliación del reconocimiento mediante nuevos sondeos. Para la previsión futura se está extendiendo cada vez más el uso de modelos numéricos para simular la evolución de la RAA y de su fisuración asociada, aunque hay que tener en cuenta siempre sus limitaciones. Por ello es esencial el establecer un control especial de seguimiento del fenómeno, y muy singularmente sobre su influencia en el funcionamiento de las compuertas de los aliviaderos.

Ya se ha indicado que la fisuración de las presas de hormigón no es estrictamente un fenómeno de envejecimiento sino más bien la manifestación de una debilidad de la estructura frente a solicitaciones cíclicas o prolongadas. Para un primer análisis de la fisuración hay que estudiar el conjunto del comportamiento de la presa, principalmente los resultados de las medidas de las deformaciones, caudales de filtraciones y piezometría. Así mismo, es necesario la descripción detallada y el seguimiento de las fisuras con especial atención a su geometría interna, variaciones en sus aberturas y progresiones en su longitud. Para ello pueden emplearse métodos de digitalización numérica, extensómetros locales, instrumentaciones con fibra óptica, sondeos de reconocimiento y métodos geofísicos sonoros o sísmicos. Igual que en la RAA y para una mejor comprensión del comportamiento de la presa y su previsible evolución, son de mucha utilidad los métodos numéricos de simulación no-elásticos.

Para la detección del envejecimiento en las presas de materiales sueltos, los métodos generalmente empleados son: las inspecciones visuales, el control de deformaciones, la auscultación hidráulica y el reconocimiento del régimen de presiones en el interior de la presa. Otros dispositivos de auscultación menos clásicos pueden ser los extensómetros de fibra óptica, la termografía de infrarrojos, la detección de los flujos hidráulicos mediante termómetros, el empleo del radar, y el uso de células pequeñas de medidas de tensiones implantadas en sondeos. Una vez detectado el envejecimiento, y para su mejor diagnóstico y conocimiento, se pueden emplear métodos geofísicos, ensayos con penetrómetros, estudio de permeabilidades, sondeos y análisis de laboratorio de las muestras, así como modelos numéricos de simulación.

En cuanto a las obras "anexas" los métodos principales de detección del envejecimiento son: las inspecciones visuales, los estudios sistemáticos de seguridad, y el análisis de las anomalías en su funcionamiento.

#### 4. METODOS DE REPARACION

El R.G. refiere que en los casos presentados en este Congreso se relatan una gran variedad de circunstancias y situaciones. En algunos, después de finalizar la investigación, la presa continúa en explotación sin que se realice ningún trabajo de reparación. En otros casos se llevan a cabo trabajos de mantenimiento y reparación muy importantes, llegándose en situaciones muy singulares a la reconstrucción completa de la obra. En general las comunicaciones presentadas se refieren a ejemplos difíciles y costosos, debido a que el envejecimiento afectaba seriamente a la seguridad de la obra.

En cuanto al envejecimiento de cimentaciones, los métodos de reparación se refieren a la restauración de la impermeabilidad de la cimentación (inyecciones, tapices en la roca aguas arriba de la presa, etc.), a la reducción de subpresiones, a la reperforación de la red de drenaje y a las obras de mejora de la estabilidad de la cimentación.

En las presas de hormigón, fundamentalmente en bóvedas, diversos métodos se han descrito para paliar los efectos de la retracción del hormigón, entre los que cabe citar la reinyección de las juntas

y la protección e impermeabilización de la unión hormigón-roca en la zona de aguas arriba.

Con relación a la lucha contra la expansividad de hormigón debida a la RAA, la lectura de las comunicaciones presentadas da en general una impresión pesimista sobre su eficacia a largo plazo. En la mayor parte de los casos la idea generatriz ha sido la de aplicar un revestimiento impermeable en el paramento aguas arriba con el fin de evitar la entrada de agua necesaria para la expansión del hormigón. Pero en diversas ocasiones no se ha realizado debido fundamentalmente a la imposibilidad de impedir totalmente la entrada del agua en la zona de la cimentación, y al tiempo necesario para el efectivo secado de la masa de hormigón. En los casos en que esta solución se ha llevado a cabo es necesario esperar a que pase más tiempo para evaluar su eficacia. En algunas situaciones las deformaciones debidas a la expansión representaban graves consecuencias y entonces se ha recurrido a la abertura de pequeñas cavidades en el hormigón, mediante pequeños sondeos o fisuras, con la finalidad de permitir su expansión. Estos métodos en general han dado buenos resultados. En otras ocasiones se ha intentado controlar las deformaciones expansivas mediante anclajes activos o pasivos, lo que puede resultar muy contraproducente ya que al eliminar algunos grados de libertad de la expansión del hormigón puede dar lugar a sobrecargas tensionales muy importantes e incluso a agravar los efectos de la RAA.

Con relación a las comunicaciones que se refieren a la fisuración el R.G. señala que es "chocante" el comprobar que, aparte de los casos de presas de contrafuertes y de gravedad "huecas" en las que se han tenido que realizar reparaciones muy importantes, no se mencionan trabajos de reparación, salvo pequeñas inyecciones y protecciones térmicas.

Para la reparación de los defectos de estanqueidad debidos a la masa del hormigón, a las fisuras, o a las juntas verticales y horizontales los métodos de reparación son muy variados, y han experimentado notables progresos en los últimos años. En general se observan dos grandes tendencias: 1.º La utilización creciente de "máscaras" o protecciones gruesas de hormigón (del orden del 1% de la carga hidrostática, con un mínimo de 30 cm) y 2.º El empleo de productos orgánicos sintéticos en for-

ma de juntas premoldeadas o como productos de inyección.

En las presas de materiales sueltos ya se ha señalado su buena "resistencia" frente al envejecimiento, y las pocas comunicaciones presentadas con relación a este tema se refieren al uso de inyecciones o muros pantalla para la reparación de núcleos o masas de tierra homogénea y a la adición de espaldones de escollera aguas arriba o aguas abajo. En los aliviaderos el aumento de su capacidad es la situación mencionada con más frecuencia, y las comunicaciones describen una gran variedad de soluciones que van desde los recrecimientos a las construcciones de aliviaderos completamente nuevos.

## 5. MEDIDAS DE PREVENCIÓN DEL ENVEJECIMIENTO

La experiencia demuestra que la mayor parte de medidas para prevenir el envejecimiento deben ser tenidas en cuenta en el proyecto y durante la construcción, y numerosos autores de comunicaciones lamentan que los proyectistas no tengan demasiado en cuenta los problemas futuros de la explotación ni la elección de materiales y su puesta en obra para resistir a las agresiones futuras. El R.G. pone mucho énfasis en la necesidad de un adecuado diseño de los elementos electromecánicos, en especial de las compuertas de los aliviaderos, que son un elemento esencial de la seguridad.

Entre las diversas medidas se citan la adaptación de la cimentación a las cargas y a los gradientes hidráulicos, la utilización de cementos de poca retracción inicial, y la implantación de unas redes de inyección y drenajes adecuadas.

En cuanto a la RAA, se indica que aunque las reglas antiguas limitaban sobre el contenido de alcalis del cemento (en un 0,6% de  $\text{Na}_2\text{O}$  equivalente) en la actualidad es necesaria la determinación del "alcali total" del hormigón, ya que existen algunas rocas susceptibles de aportación por sí mismas, como se da en el caso de que contengan feldespatos o micas en fase de alteración. Para limitar la actividad y la difusión de los alcalis en la pasta de cemento es muy útil la adición de cenizas. La norma ASTM permite diferenciar los aridos en reactivos y no reactivos, pero la experiencia muestra que no permite asegurar totalmente la inocui-

dad de los áridos, por lo que se están investigando y desarrollando nuevos métodos de análisis. Por otra parte cabe señalar que en algunos países se han realizado estudios sistemáticos sobre un gran número de rocas, y se han catalogado las zonas susceptibles de dar problemas relacionados con la RAA.

En las presas de materiales sueltos hay que tener en cuenta que la observación de las reglas de arte es el mejor procedimiento preventivo para luchar contra el envejecimiento, pues sino se producen accidentes muy rápidamente después de su puesta en carga.

En cuanto a las obras "anexas" hay que realizar los diseños hidráulicos correctamente, proveer de aireaciones adecuadas cuando sean necesarias, y prevenir en los cuencos de amortiguamiento la acumulación de materiales sólidos, y la destrucción de sus soleras por los efectos de las presiones dinámicas. Para los elementos electromecánicos no es conveniente el economizar demasiado en su proyecto, siendo además necesario realizar un mantenimiento constante.

## 6. CONCLUSIONES

El R.G. concluye que cinco temas merecen reflexión y discusión:

- 1) En la explotación de las presas es muy importante asegurar un buen mantenimiento para retrasar en lo posible los fenómenos de envejecimiento. Para ello es necesario que la responsabilidad de la seguridad de la presa sea confiada a una sola persona, y que la inspección y vigilancia, el archivo de la documentación, y los trabajos de mantenimiento sean metódicos y continuos.
- 2) Las presas antiguas representan un problema específico. Alrededor de cada diez años el estado del arte en el proyecto y construcción de las presas evoluciona, y normativas y criterios básicos puestos en cuestión, principalmente en lo que se refiere a los aliviaderos de crecidas y dispositivos de auscultación. Entonces es necesario realizar evaluaciones de la seguridad con intervalos decenales a fin de revisar las condiciones globales de la obra y tomar las medidas necesarias.

- 3) Las presas de hormigón son más vulnerables al envejecimiento que las de materiales sueltos.
- 4) Hay que proteger y mantener adecuadamente los elementos electromecánicos.
- 5) Diversos escenarios de envejecimiento mencionados en las comunicaciones merecen una discusión más profunda. Entre ellos cabe citar los siguientes:
  - La RAA. Mecanismo íntimo de la reacción, efectos sobre la estructura, interpretación de estos efectos, modelos, reparaciones y ensayos de reactividad de los áridos.
  - Condiciones de apoyo de las grandes bóvedas: fisuración de la cimentación en el pie de aguas arriba, consecuencias locales directas e indirectas en el pie aguas abajo.
  - Núcleos de presas de materiales sueltos: fracturación hidráulica, peligros de erosión, posibilidades para una detección precoz de las anomalías.
  - Pre y post-tensados: control de la durabilidad de los esfuerzos estabilizadores y de la integridad de los anclajes, riesgo de corrosión.
  - Material electro-mecánico: seguridad de los aliviaderos, prevención de la obstrucción de los desagües de fondo.
  - Revisión de las presas antiguas y evaluaciones de su seguridad: optimización de las condiciones de seguridad y consideraciones económicas, métodos de evaluación de la seguridad.

Finalmente, cabe señalar que con las nuevas técnicas y progresos en el proyecto y construcción de presas, es de esperar que las presas modernas envejezcan menos rápidamente. Nuevas mejoras se pueden introducir en los proyectos si se presta mayor atención al fenómeno del envejecimiento y colaboran en su redacción expertos en explotación.

## COMUNICACIONES ESPAÑOLAS A LA Q-65

Se han presentado al Congreso seis trabajos españoles relativos al envejecimiento de las presas y medidas de reparación (Transactions of XVII International Congress on Large Dams, Vol. 2):

Autores	Título
M. Guerreiro, R. Fernández Cuevas M. J. Guerreiro, G. Gómez Laa A. Gil García, J. Cajete Baltar	Causes of failure of the Fonsagrada dam.
J. M. Martínez Roig, F. Salinas Morales, F. Quintero Moreno	Study on the interaction aggregate-paste in the concrete at the San Esteban dam.
K. Malmcrona, J. K. Malmcrona Díaz-Ambrona	Changes of gates at the water intake of the Talarn dam.
J. M. Martínez Roig, A. Aguado, L. Agulló, E. Vázquez	Description of a method for localizing water seepage across a concrete surface.
J. L. Díaz-Caneja Rodríguez	Diagnosis of the behaviour of the Graus and Tabescan dams.
	Restoration of La Cuerda del Pozo dam.

**M. Guerreiro et al.** estudian las causas de la rotura de un arco de la presa de Fonsagrada en el año 1987. Esta presa es del tipo de arcos múltiples con contrafuertes con una altura de 20 m. y un volumen de embalse de 60.000 m<sup>3</sup>. Después de la rotura se programó un cuidadoso protocolo de ensayos e investigaciones para analizar las causas del fallo. Así, se realizaron estudios de hormigón "in situ" y en testigos de sondeos mediante ensayos físicos (densidad y porosidad), mecánicos (resistencia a compresión y módulo de elasticidad), hidráulicos (permeabilidad y diámetro medio de los poros), y químicos y estructurales con el examen al microscopio electrónico de barrido. El trabajo presenta los resultados de los ensayos y exámenes realizados y determina las causas de la rotura que fue debida a un importante deterioro del hormigón después de 30 años. Entre ellas cabe citar las siguientes: aguas del embalse muy agresivas, que percolaban a través de los poros del hormigón de mala calidad inicial y que dieron lugar a una meteorización de la pasta hidratada de cemento y de los áridos, fenómenos expansivos que se superponían a los efectos anteriores, formación de etringita y de concentrados salinos en los poros del hormigón con la consiguiente fisuración de algunas zonas de las bóvedas. Estos mecanismos se vieron acelerados en las bóvedas expuestas a una mayor radiación aguas abajo.

**A. Gil et al.** presentan el caso de RAA observado en la presa de San Esteban. Esta presa es de arco-gravedad con una altura de 115 m., que crea un embalse de 213 Hm<sup>3</sup>. La auscultación en los últimos

decenios mostraba un progresivo aumento de los desplazamientos hacia aguas arriba, y una elevación de la coronación que en algunos bloques alcanzaba los 20 mm. Además se habían producido fisuras en la parte superior de la presa, que se observaban también a nivel de las galerías. Todos estos datos eran indicativos de un fenómeno de RAA con la consiguiente expansión del hormigón. Para confirmar el diagnóstico se amplió el sistema de auscultación y se obtuvieron datos más precisos del movimiento de los bloques y del estado tensional. También se empleó un modelo no-lineal para simular la progresión del fenómeno expansivo. Todo ello reforzó la hipótesis de la presencia de mecanismos expansivos. Para analizar las causas de la RAA se realizaron amplios y modernos ensayos sobre las rocas graníticas que se habían usado para la fabricación de los áridos usando técnicas de microscopía electrónica de barrido y de difracción de rayos X. Igualmente se realizaron ensayos en testigos de hormigón. Los resultados indicaron la reactividad de los áridos silíceos con la pasta de cemento y confirmaron las hipótesis establecidas. En un intento de evitar la penetración del agua en el paramento de aguas arriba y así impedir en la medida de lo posible la progresión del mecanismo expansivo se realizó una impermeabilización de la parte superior del paramento de aguas arriba mediante el empleo de resinas.

**J. M. Martínez Roig et al.** refieren el caso del cambio de compuertas en la toma de agua del embalse de Talarn. La presa fue construida entre los años 1914 y 1916, es de gravedad, con 92 m. de al-

tura y un embalse de 193 Hm<sup>3</sup>. No disponía de desagües de fondo. Después de diversos incidentes se vio la necesidad de cambiar las compuertas de la toma de la central, que solamente pudo completarse después de cinco años de trabajo debido a las dificultades de emplazamiento y al nivel de explotación del agua del embalse.

**K. Malmcrona et al.** describen un nuevo método para la localización de filtraciones de agua a través del paramento de una presa, que fue originalmente aplicado en la presa de Cuerda del Pozo. Esencialmente el método consiste en la aplicación de un tejido permeable en sucesivas zonas del paramento aguas arriba. Posteriormente se analizan las zonas coloreadas del tejido debidas al agua de infiltración, con lo que se pueden delimitar las partes del parámetro donde la percolación es más intensa.

**J. M. Martínez et al.** presentan los estudios realizados para la investigación de la RAA en las presas de Graus y Tabescan. La presa de Graus es una presa de gravedad de 27 m. de altura que crea un embalse de 15 Hm<sup>3</sup>. La presa de Tabescan es también de gravedad de 31 m. de altura y con un embalse de 13 Hm<sup>3</sup>. Ambas presas están construidas en la misma formación geológica donde predominan las rocas metamórficas. Fueron construidas en la década de los 60, y después de una mejora de la auscultación en 1981 se observaron desplazamientos irreversibles y progresivos hacia aguas arriba de más de 40 mm. Además en el parámetro aguas abajo existía una fisuración arborescente y cambios de coloración marcados, lo que hacía suponer la presencia de RAA para confirmar el diagnóstico se aplicaron diversas técnicas en la presa (extensometría,

ultrasonidos) y en el laboratorio con el estudio de los áridos mediante análisis químicos, difractométricos y de reactividad; y de los testigos de hormigón mediante ensayos mecánicos, de permeabilidad y difractométricos. También se realizó una simulación numérica. Los resultados mostraron que la principal causa del comportamiento anormal fueron los fenómenos expansivos originados por las reacciones de los componentes inestables de los áridos (sulfuros de hierro).

**J. I. Díaz-Caneja** refiere los trabajos de reparación de la presa de La Cuerda del Pozo. Esta es una presa de gravedad de planta curva de 36 m. de altura y con un embalse de 229 Hm<sup>3</sup>. Ya desde su primera puesta en carga en 1940 presentó importantes filtraciones que fueron corregidas parcialmente mediante inyecciones. Pero últimamente las filtraciones se reprodujeron y aumentaron hasta llegar a valores de 120 l/seg., al 95% de la carga. El paramento de aguas arriba estaba muy deteriorado principalmente en las juntas verticales y en las de construcción. Por otra parte, la humedad y la rigurosidad del clima, habían producido también un progresivo deterioro del hormigón en el paramento aguas abajo, que en algunas zonas alcanzaba profundidades de hasta 1 m. Los trabajos de reparación realizados han sido los siguientes: 1.º Restauración de los 15 m. superiores del paramento de aguas arriba, mediante resinas sintéticas y mortero de cemento, 2.º Inyecciones en el cuerpo de la presa y perforación de nuevos drenes y 3.º Revestimiento del parámetro de aguas abajo mediante losas de hormigón de 60 cm. de espesor mínimo y ancladas a la superficie. Una vez concluidos los trabajos las filtraciones se redujeron a 4 l/seg. con una carga del 95%.