

# COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

## REVISIÓN DEL DIAGNÓSTICO DE LA PRESA DE MEQUINENZA

J. M. Buil<sup>1</sup>, F. Río<sup>1</sup>,

A. Aguado<sup>2</sup>, L. Agulló<sup>2</sup>, G. Araujo<sup>2</sup> y C. M<sup>a</sup> López<sup>2</sup>

*RESUMEN:* Como consecuencia de una serie de incidentes nacionales e internacionales en presas en el período de proyecto y construcción de la presa de Mequinenza, por un lado, y de la magnitud de la misma, por otro lado, se tomaron una serie de medidas de instrumentación, algunas de ellas superabundantes.

*El registro de las medidas alertó del comportamiento singular del bloque situado entre las juntas 13-14 y tras diversos estudios experimentales mediante ensayos acelerados se diagnosticó un hinchamiento anómalo del hormigón del citado bloque. Con posterioridad se hicieron diversos cálculos que tomaron ese diagnóstico y aumentaron el valor de las expansiones para ajustar a los movimientos que se observaban. Ambas técnicas, correctas en si mismas, no tuvieron en cuenta una visión transversal del problema, con lo que no dieron respuesta al problema de los movimientos.*

*Recientemente se ha tenido la oportunidad de afrontar nuevamente este problema con una visión más amplia, utilizando diversas técnicas complementarias que permiten descartar el diagnóstico inicial y hacer una nueva propuesta, con sentido físico del problema, que se ajusta bien a todas las etapas observadas, pudiéndose señalar que existe una causa general que afecta a todos los bloques de la presa y una causa específica que corresponde a dicho bloque dada la singularidad del mismo.*

---

<sup>1</sup> ENDESA

<sup>2</sup> UPC. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puentes. Barcelona

# 1. INTRODUCCIÓN

La presa de Mequinenza se integra en el aprovechamiento hidroeléctrico integral de un tramo del río Ebro gestionado por ENHER en 1955. Su construcción entre 1957 y 1964 dio origen a un embalse hiperanual de 1530 hm<sup>3</sup>, con una longitud de unos 110 km. La altura máxima de la presa es de 79 m y una longitud de coronación de 461 m, situándose la cota de cimentación a 45m.

En la figura 1 se presenta el alzado de la presa visto desde aguas arriba, así como una planta de la misma. En ella puede verse que el perfil de la cerrada es abierto (tipo U), con una altura de cota muy similar en la mayoría de los bloques, esto es, la rigidez de los mismos es similar, incluso algo menor, consecuencia de su menor altura, en el gran bloque donde se sitúan las tomas (junta 13 y 14) de una longitud de 70 metros. La longitud del resto de los bloques se sitúa entre 14 y 21 metros, excepto el bloque entre las juntas 21 y 22 que es de 8,16m.

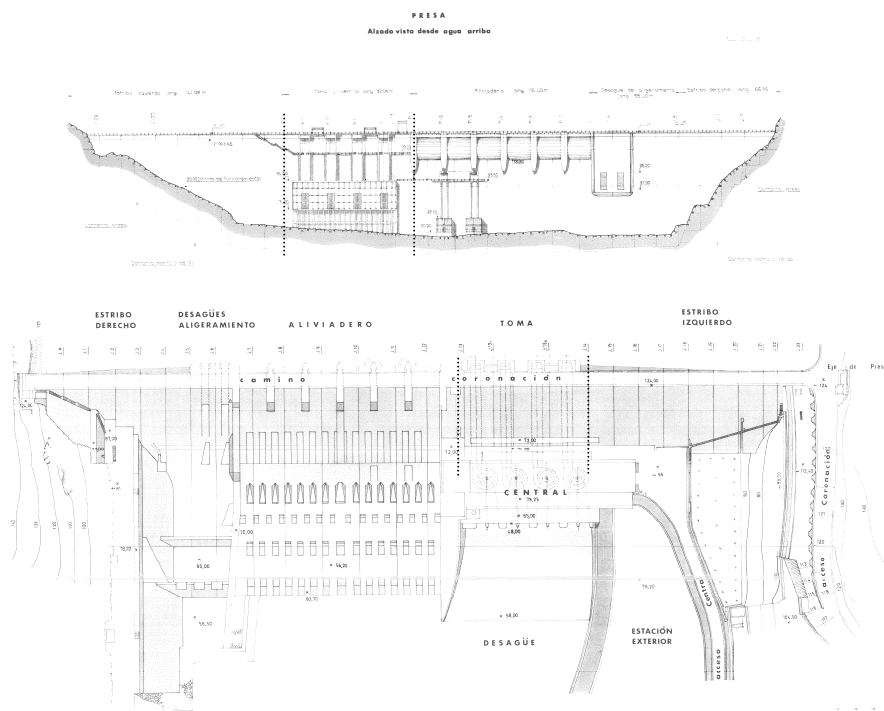


Figura 1. Alzado de la presa desde aguas arriba y planta de la misma

Dicha presa se embalsó por primera vez en diciembre de 1965, si bien con posterioridad se bajó de cota para volverse a llenar en 1969. En ese período se hicieron toda una serie de trabajos complementarios para dar respuesta a una creciente demanda de seguridad fruto de la rotura de la presa de Vega de Tera, en el año 1957 con la consiguiente creación del Servicio de Vigilancia de Presas en España y de las presas de Malpasset (Francia) en 1959 y Vaiont (Italia) en 1963. Los trabajos de dicho servicio dieron lugar a la Instrucción de presas de 1962, y para la presa de Mequinenza supuso un incremento de la

instrumentación, lo que dio lugar, probablemente, a la presa más instrumentada de España en su momento.

Entre los trabajos de ese período (1964-69) se encuentran una ampliación de la pantalla de impermeabilización y drenaje, consolidación de las laderas, prolongación de las galerías de inspección y drenaje, construcción de una nueva galería profunda de drenaje a 25 metros por debajo de la cimentación de la presa (Diez-Cascón y Bueno Hernández, 2001) y un rastrillo de refuerzo de la presa (Álvarez y Baztán, 1967) en dos proyectos, tanto en el aliviadero y desagües de aligeramiento como en la zona de central, ante las dudas que surgieron sobre el comportamiento de la cimentación, formada por estratos horizontales de caliza separados por delgadas láminas de lignito.

Al comenzar el llenado del embalse durante los primeros años, pudo observarse unos movimientos hacia aguas abajo de las alineaciones, más acentuados en el bloque situado entre las juntas 13 y 14. En la figura 2 se presentan los movimientos de las alineaciones en coronación de las bases situadas en los distintos bloques, correspondientes a cuatro edades diferentes: 1974, 1984, 1994 y 2004.

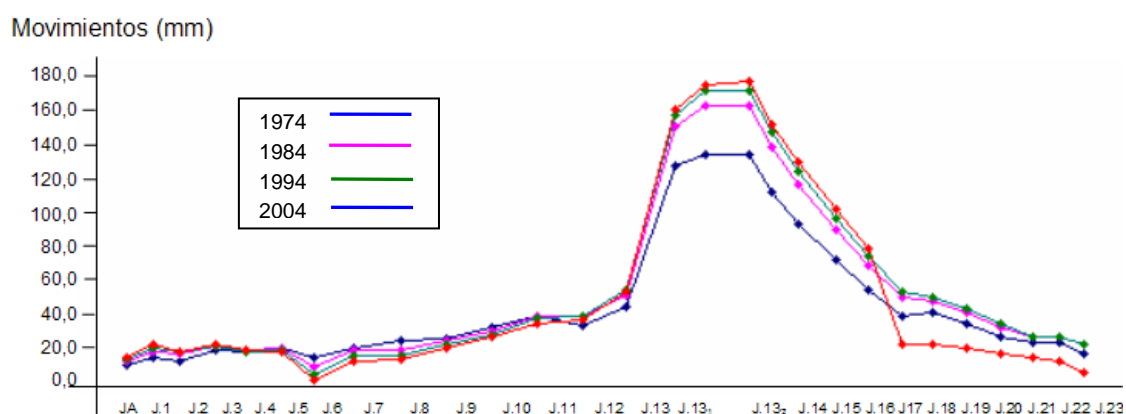


Figura 2.- Movimientos alineaciones en el bloque 13 y 14 para cuatro edades diferentes

En ella puede verse, por un lado, que los movimientos principales de la presa se produjeron en los primeros años, ya que en el año 1974 ya se habían producido la mayor parte de los movimientos. Sin embargo no se puede señalar que el proceso haya finalizado, si bien los movimientos posteriores son pequeños, relativamente a los movimientos de los primeros años.

Por otro lado, puede apreciarse la singularidad de las bases situadas en el bloque 13-14, en el que se producen los mayores desplazamientos de las alineaciones, si bien se observa cierto movimiento de arrastre en los bloques laterales a dicho bloque (Bloques 12-13 y 14-15). En resumen, se puede detectar la suma de dos fenómenos, uno general para el conjunto de la presa, que conduce a valores similares de los movimientos en coronación y, un fenómeno más acentuado en el bloque 13-14, que requerirá de un estudio específico. Los elevados valores de los movimientos producidos han dejado obsoletas las bases de medidas inicialmente instaladas, tanto las generales (por lo que ha habido que hacer un cambio de bases), como las relativas entre bloques.

En la figura 3 se muestran los movimientos en el tiempo de las alineaciones en la base B 13-14.4 a diferentes alturas (coronación y galerías a 100, 81 y 51 metros de cota). En ella puede verse que, aparte de las variaciones estacionales y de régimen hidráulico, los movimientos muestran unas deformaciones remanentes, más significativas, cuanto mayor es la cota de la base de medida, fruto de la diferente flexibilidad de las zonas medidas. También se observa una mayor pendiente en los primeros años, que posteriormente decrece y mantiene una pequeña pendiente no nula.

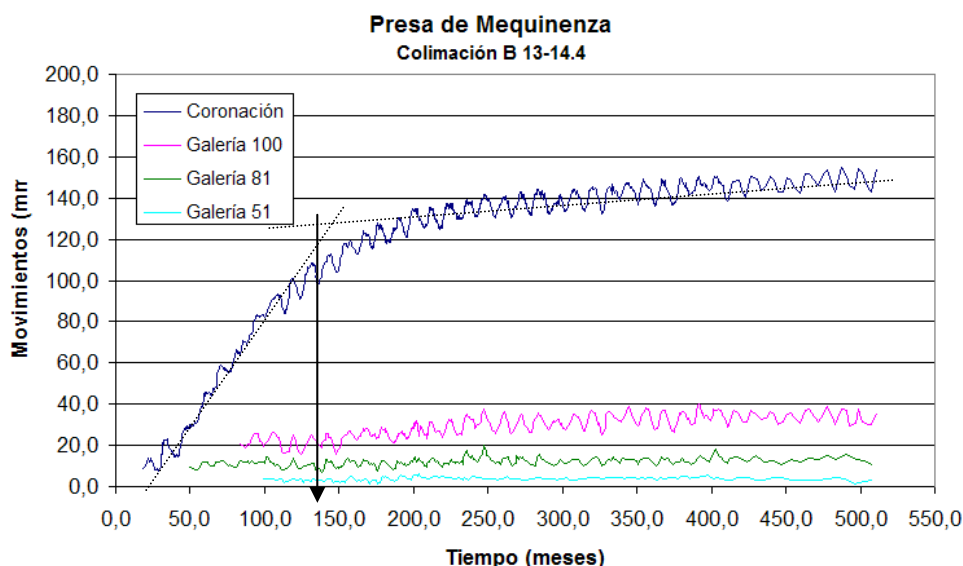


Figura 3.- Movimientos en el tiempo de las alineaciones de la base B 13-14.4

En dicha figura se ha señalado una aproximación lineal de ambos tramos para ver el punto de corte y señalar una edad como posible referencia. Esta edad se encuentra en el entorno de los 135 meses  $\pm$  25 meses, lo que dependiendo de donde se sitúe el origen estaría alrededor de los primeros años de la década de los 70.

## 2. BASES DEL DIAGNÓSTICO ANTERIOR

Los técnicos de la propiedad en aquel momento, tras descartar diversas causas, encargaron a dos prestigiosos laboratorios, IETcc (M. Fernández Cánovas, 1980) e ITALCEMENTI, unos ensayos para analizar la posible expansión del hormigón. Estas campañas de ensayos se realizaron en la segunda mitad de los años 1970. Hay que señalar que como técnica experimental para la obtención de resultados en testigos directos de la presa se trabajó en las siguientes condiciones:

- IET: Testigos de 5,6 cm de diámetro los cuales se secaban en estufa a 100 °C hasta alcanzar peso constante para, con posterioridad, sumergirlo en una cubeta con agua sin presión a 20 °C
- Italcementi: Testigos de 10 cm de diámetro los cuales se secaban en estufa a 60 °C hasta alcanzar peso constante para, con posterioridad, sumergirlo en una cubeta con agua sin presión a 60 °C

Los valores máximos obtenidos en testigos en los ensayos del IET fueron, después de 140 días, de entre  $5$  y  $7 \times 10^{-4}$  m/m, mientras que en las probetas fabricadas ex profeso, con distintos tipos de cemento, los valores máximos alcanzados fueron de  $24 \times 10^{-4}$  m/m correspondiente al cemento P-450-ARI, que no fue el utilizado en la presa. Los resultados de ITALCEMENTI, después de 90 días en agua en las condiciones señaladas reflejan valores del entumecimiento de  $6,2 \times 10^{-4}$  m/m. Por otro lado, en cuanto a reacciones de expansión química de los hormigones, se descarta como causa en los trabajos tanto del IETcc como de ITALCEMENTI.

Los ensayos experimentales han sido un condicionante para el desarrollo posterior de los trabajos de análisis del comportamiento de la presa. Ahora bien, hay que cuestionar esos resultados en base a:

- La técnica experimental no es representativa de la situación real de la presa. Los valores reales de entumecimiento del hormigón de la presa en zonas totalmente saturadas deben ser significativamente inferiores a los obtenidos en los ensayos, ya que si no los movimientos de alineaciones en los otros bloques reflejarían el mismo comportamiento.
- No hay diferencias significativas de hormigón y de sus componentes en el bloque 13-14, con respecto al resto de bloques de la presa. En todo caso, puede haber más cemento, fruto de que en este bloque se encuentran las tuberías que van a los diferentes grupos, lo que usualmente implica la existencia de zonas armadas y unas características mecánicas algo superiores al resto.

Con posterioridad (finales de la década de los años 70), se hizo una evaluación estructural con el MEF, mediante el programa Strudel, considerando entre las acciones el entumecimiento. Años después, en la década de los 80, se realizaron unos estudios numéricos, con el entumecimiento como acción, con objeto de intentar ajustar los resultados medidos en la presa y los obtenidos mediante métodos numéricos más avanzados (Oliver et al., 1985 y Cervera et al., 1990). Los resultados que el tiempo efectivo de estabilización del entumecimiento, a introducir en las curvas del análisis, se sitúa, en el caso estudiado, en 192 meses. Por otro lado, no cuestionan el entumecimiento como causa principal, si bien en algunos resultados tienen que adoptar valores elevados del mismo (incluso superiores a los experimentales).

### **3. HIPÓTESIS DEL COMPORTAMIENTO**

#### **3.1. VISIÓN GLOBAL**

Frente al planteamiento anteriormente mostrado que no explica los movimientos actuales en otros bloques y muestra puntos débiles en diferentes direcciones (complejidad secuencial del entumecimiento, fisuras en vigas auxiliares, valores excesivos del entumecimiento, técnica experimental poco representativa, otros), en lo que sigue se muestran las nuevas hipótesis del comportamiento, basadas en la documentación que se ha dispuesto.

Esta hipótesis incluye dos causas principales, una que afecta al conjunto de la presa y es común en toda ella y otra que afecta, principalmente, al bloque 13-14, con un consecuente arrastre en los bloques adyacentes, tal como puede verse en la figura 2 anteriormente presentada. En lo que sigue se analiza el comportamiento en las siguientes fases:

- Efecto global: Hinchamiento del talón delantero por expansión de los lignitos por el aumento de la presión hidrostática del agua (o como alternativa, ligero entumecimiento del hormigón)
- Efecto local: Subpresión en juntas de construcción
- Singularidades del bloque 13-14
- Posibles expansiones químicas diferidas

Una vez se han establecido las hipótesis del nuevo diagnóstico hay que confirmar el mismo mediante un modelo simplificado, para con posterioridad, si los resultados así lo certifican, ahondar en esta dirección con modelos más complejos que puedan reflejar el comportamiento con mayor precisión.

#### Hinchamiento en talón delantero

Las deformaciones en la cara aguas arriba de la presa ya sean del entumecimiento del hormigón o ya sean del hinchamiento de los lignitos bajo presión de agua por la alta porosidad de estos, no es la causa principal, produciendo los mismos movimientos. Lo que es importante señalar es que ambas situaciones se dan en todos los bloques y cabe recordar que en el caso que se insistiese por el entumecimiento, los valores deben ser claramente inferiores a los obtenidos experimentalmente en condiciones extremas.

Las deformaciones unitarias que se pueden producir por esta causa (hinchamiento de los lignitos) se debe situar en el entorno de  $5 \text{ a } 10 \times 10^{-4}$  m/m, con potencias limitadas de los estratos de lignito, de forma tal las deformaciones derivadas del incremento de peso propio<sup>4</sup> de la presa fruto del mayor grado de saturación del hormigón tras el embalse y la existencia de flujo en la presa compensarían en gran medida estas deformaciones si se entienden como uniformes, tal como se refleja en los movimientos de las nivelaciones.

Por otro lado, estos movimientos se situarían únicamente en la zona del terreno hasta los drenes y galería de drenaje. Por ello, cuando se reperforaron los drenes, los movimientos cambiaron de cinética, como consecuencia del aumento de la capacidad drenante de los mismos, lo que representa un amortiguamiento significativo de los movimientos.

#### Movimientos en juntas de construcción

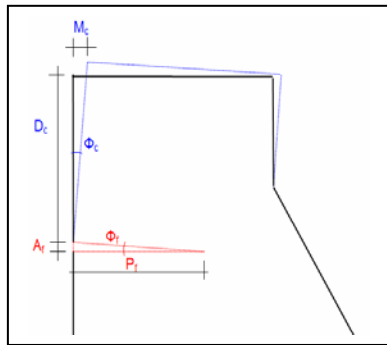
Tal como se ha dicho, la causa principal de los movimientos, especialmente en el bloque 13-14, son la apertura de las juntas de construcción, fruto de la subpresión y el empuje hidrostático, lo que implica un cabalgamiento de los labios de fisura y un giro entre ellos, con la consiguiente repercusión en las bases situadas en cotas por encima de las fisuras. Como consecuencia del

---

<sup>4</sup> Se entiende que el registro de los movimientos se ha comenzado a la finalización de la presa, por lo que los movimientos iniciales originados por el peso propio, ya producidos, no se tienen en cuenta.

monolitismo de la parte superior del bloque este efectúa un movimiento de giro hacia aguas abajo pivotando en la cota de aparición de la fisura (esquema de la figura 4).

Los desplazamientos horizontales se obtienen considerándose el cuerpo de la presa como rígido de tal manera que el ángulo formado por la apertura de la fisura es igual al ángulo que se desplaza la parte por encima de esta cota hasta coronación. De esta manera, estimándose el ancho y la profundidad de la fisura y conociéndose la cota en que ella se da, se puede obtener el movimiento individual horizontal.



$$\phi_f = \phi_c$$

$$\frac{A_f}{P_f} = \frac{M_c}{D_c}$$

Donde:

$A_f$  - ancho de la fisura

$P_f$  - profundidad de la fisura

$M_c$  - Movimiento horizontal en coronación

$D_c$  - distancia entre fisura y coronación

Figura 4.- Relación entre apertura de fisura y movimiento horizontal en coronación

Los movimientos totales de alineación en coronación han sido obtenidos considerándose la suma de los movimientos horizontales debido a cada una de las fisuras individualmente. Por otro lado, para obtener los movimientos verticales totales, se ha sumado los valores de las aperturas de las fisuras.

La documentación nos permite identificar las cotas de las principales fisuras observadas, sin embargo, puede que hayan otras pequeñas fisuras no consideradas en la estimación que, en este caso, también contribuirían en los movimientos no recuperables observados.

Visto que la documentación facilitada no ha permitido saber las aperturas de las fisuras identificadas y que conocer su profundidad en el cuerpo de la presa es un tanto complicado, se ha estimado dichos parámetros para llevar a cabo los cálculos de los movimientos. De esta manera, se han estimado distintas aperturas y profundidades considerándose valores que parecen lógicos en este caso. En la Tabla 1 se presentan las tres situaciones con los respectivos valores considerados.

A título de ejemplo, las fisuras en las cuales se podían meter los dedos de la mano, considerar su ancho entre 1,0 y 1,6 cm. es perfectamente aplicable. Por lo tanto, para hacer una primera estimación de los desplazamientos, se han verificados tres escenarios variando los parámetros ancho y profundidad de la fisura.

Tal como se puede apreciar en los resultados de las distintas situaciones analizadas, las aperturas de las fisuras pueden generar unos desplazamientos horizontales en coronación que varían entre 16 y 11 cm. Por otro lado, los movimientos verticales en coronación en el punto más aguas arriba puede sufrir una elevación de cota entre 2,5 y 4,4 cm.

Teniendo en cuenta que las fisuras analizadas han sido observadas antes del año 1976, y que en esta época, los movimientos del bloque [13-14]I, por ejemplo, estaba alrededor de los 14 cm. en el plano horizontal y llegaba a los 4 cm. de elevación de cota, los movimientos estimados en esta primera aproximación guarda muy buena concordancia con los movimientos reales medidos en la presa, tanto en alineación como en nivelación.

*Tabla 1.- Desplazamientos horizontales y verticales en coronación*

Cota (m)	Situación 1 (menos conservadora) (cm)			Situación 2 (intermedia) (cm)			Situación 3 (más conservadora) (cm)		
	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Despl. horiz. coron.	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Despl. horiz. coron.	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Despl. horiz. coron.
118,40	600	0,20	0,19	500	0,15	0,17	400	0,10	0,14
113,47	600	0,01	0,02	500	0,008	0,02	400	0,005	0,01
112,00	800	0,20	0,30	800	0,15	0,23	800	0,10	0,15
108,00	600	1,60	4,27	500	1,40	4,48	400	1,00	4,00
104,50	600	0,20	0,65	500	0,15	0,59	400	0,10	0,49
102,50	400	1,60	8,62	400	1,40	7,53	400	1,00	5,38
88,00	1000	0,20	0,72	1000	0,15	0,54	1000	0,10	0,36
85,00	1000	0,20	0,78	1000	0,15	0,59	1000	0,10	0,39
	Desplazamiento horizontal (cm)		<b>16,29</b>	Desplazamiento horizontal (cm)		<b>14,15</b>	Desplazamiento horizontal (cm)		<b>10,92</b>
	Desplazamiento vertical AR (cm)		<b>4,41</b>	Desplazamiento vertical AR (cm)		<b>3,56</b>	Desplazamiento vertical AR (cm)		<b>2,55</b>

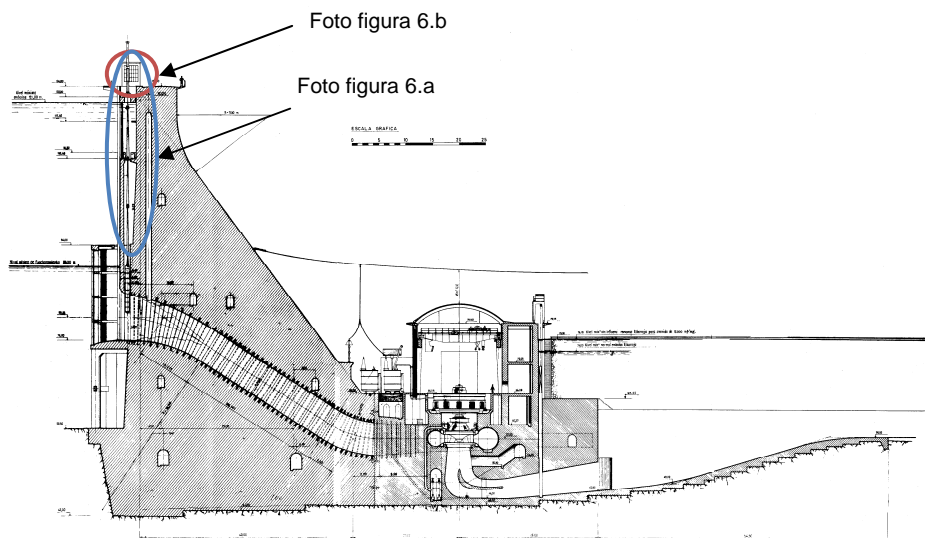
Por lo tanto, el comportamiento diferido del bloque 13-14 respecto a los demás bloques, puede explicarse muy bien por la serie de fisuras que han aparecido principalmente en el paramento aguas arriba provocando un giro de la parte superior y causando, además de una elevación de la cota, un desplazamiento hacia aguas abajo de la zona de coronación de la presa. Por otro lado, las campañas de inyección para sellado de las fisuras, llevadas a cabo en la primera mitad de los años 70, impiden el cierre de dichas fisuras resultando en un movimiento no recuperable.

Un argumento que ahonda en la hipótesis realizada en cuanto al diagnóstico son las fisuras oblicuas que aparecen en las vigas que conectan la presa con los soportes de las compuertas de las cuatro tuberías que conectan con las turbinas. En la figura 5 se muestra la sección transversal de la presa por el bloque correspondiente a la central, situado entre las juntas 13-14. En ella puede verse la existencia de unos pilares que arrancando desde el talón delantero de la cimentación llegan hasta coronación donde conectan con la presa tal como se aprecia en la fotografía de la figura 6.a.

Tal como se ha visto, una primera aproximación numérica indica que las fisuras detectadas en el paramento aguas arriba del bloque 13-14 explican de manera razonable su comportamiento diferente respecto a los demás bloques de la presa. No obstante, cabría entonces analizar el origen de la aparición de dichas fisuras. Cabe recordar que la existencia de las juntas de hormigonado facilita la propagación de fisuras por razones térmicas (diferencias de



temperaturas entre bloques adyacentes de las juntas) o reológicas (retracción). Una vez abiertas estas juntas, la entrada del agua embalsada, acaba por generar la aparición de una subpresión en la superficie de las juntas. Por otro lado, también hay que considerar el empuje hidrostático que actúa en el paramento aguas arriba. La suma de estas dos componentes puede ser suficientemente grande como para compensar y sobrepasar la acción del peso propio de hormigón permitiendo la apertura de la junta de construcción.



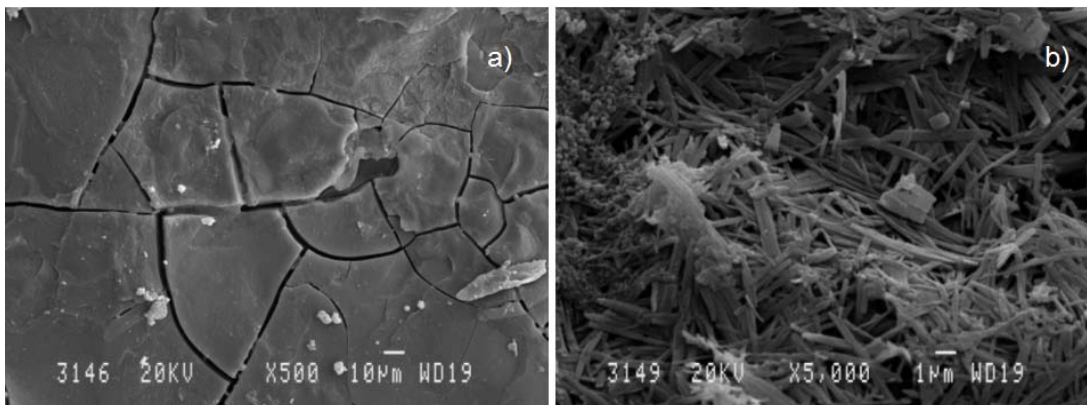
*Figura 5.- Sección transversal de la presa por bloque de la central*



*Figura 6.- Fisuración por corte directo en voladizo estructura de compuertas*

### Existencia de reacciones químicas

- Tal como se ha dicho y con objeto de conocer esa posible causa, se tomaron unos testigos de distintas zonas de la presa en la primavera de 2007, analizándose los mismos mediante diferentes técnicas (Informe 2007 IS 01). Los resultados confirman la existencia de gel proveniente de la reacción álcali-agregado, en algunas de las muestras de los testigos, ya sea en la superficie formada por una fisura (Figura 7.a) o en el poro (Figura 7.b) de un testigo. Las conclusiones del estudio señalan que:
- La fisuración enramada observada en el muro del aliviadero citado puede ser debido al desarrollo de reacciones internas expansivas del tipo reacción álcali-árido.
- Este tipo de reacción también ha sido detectada en el taladro 09 extraído de la galería superior del bloque 13-14 en dirección aguas arriba aunque en una pequeña cantidad.
- Aunque se han verificado indicios de RAA en dos taladros analizados (sobre una muestra total de 19 taladros), dicho fenómeno parece ser localizado dado que los demás testigos se encuentran sin señales de reacciones de esta naturaleza, confirmando los resultados iniciales en esta dirección.



*Figura 7.- Imagen de microscopia electrónica a) en fisura, b) en un poro.*

Si bien no es importante, hay que seguir el comportamiento a través de algunos indicadores, como pueden ser los movimientos de alineaciones y nivelaciones. Así en los movimientos de nivelación del bloque 9-10 se observa, no ya una estabilización, sino un descenso respecto a los levantamientos anteriores. En el caso de que las reacciones álcali-árido fuesen algo mayores en el paramento de aguas abajo, ese resultado parece lógico.

Asimismo hay algún indicio de fisuración enramada en primeras épocas en paramento de aguas arriba de la presa. Así en la figura 8 se presenta una foto tomada en enero de 1971 en el paramento de aguas arriba en el bloque 13-14 en cotas próximas a coronación (en el entorno de 120,40 m), en la cual se puede ver cierta fisuración mapeada.



Figura 8.- Fisuración enramada en paramento de aguas arriba, en zona de cota 121.

Las expansiones químicas, aparte de no ser la causa principal tal como se ha dicho, en ese período pudieron tener un pequeño efecto local en zonas próximas a coronación, con relaciones superficie/volumen grandes y valores bajos de las cargas exteriores, que no resultan suficientes para compensar los efectos de las expansiones (López, 1999).

#### 4. CONCLUSIONES

En esta comunicación se muestra que el comportamiento diferido del bloque 13-14 de la presa de Mequinenza puede tener otras causas diferentes del diagnóstico inicial de entumecimiento. Para ello se ha aplicado una metodología de análisis global que se ha centrado en los estudios del historial de la estructura a través de los informes y de los movimientos registrados por el sistema de auscultación, además de las observaciones “in situ”.

Inicialmente se ha demostrado que las bases para el diagnóstico anterior de hinchamiento por absorción del agua del embalse han sido apoyadas en ensayos de material en condiciones extremas e irreales. Por otro lado, para justificar los movimientos reales medidos, se ha incorporado al estudio mediante modelo numérico, variaciones volumétricas mayores que las obtenidas en el laboratorio. Además, cabe suponer que para los valores de expansiones encontrados, el hormigón afectado debería presentar una fisuración mapeada intensa que, en realidad, no se observa en la presa.

Para la validación del nuevo diagnóstico se ha planteado una hipótesis de comportamiento que tiene una componente global que afecta igualmente a toda la estructura y que está relacionada con la expansión de la cimentación y una componente de efecto local que incide en el bloque 13-14. En este último caso, la documentación facilitada ha permitido comprobar la existencia de una serie de fisuras en los paramentos aguas arriba más acentuadas en este bloque debido a algunas singularidades respecto a los demás. Unas primeras aproximaciones numéricas indican que las aperturas de las fisuras implican unos movimientos hacia aguas abajo y unas elevaciones de cota en coronación

con órdenes de magnitud que concuerdan muy satisfactoriamente con los desplazamientos reales observados en la presa.

Asimismo, se han detectado reacciones de expansión del hormigón por reacciones álcali-árido. Esta causa no es principal, habiéndose observado en pocas zonas de los testigos extraídos en la campaña de la primavera del año 2007 y en algunas determinaciones visuales del bloque 13-14 en paramentos de aguas arriba en cotas próximas a coronación.

Por todo lo expuesto, se puede concluir que el comportamiento diferido del bloque 13-14 de la presa de Mequinenza está relacionado con la apertura de las fisuras en los paramentos aguas arriba del citado bloque, debido a algunas peculiaridades de diseño y de construcción. Este bloque tiene un efecto de arrastre sobre los bloques adyacentes, reflejándose en el comportamiento de los mismos.

## Referencias

Álvarez, A.; Baztan, J. A (1967) Cimentación de presas en terrenos de posible inestabilidad. Revista de Obras Públicas. Número extraordinario, 1967, pp. 649-660.

Cervera, M.; Olivier. J. Galindo, M. (1990) Simulación numérica de patologías en presas de hormigón. Monografía CIMNE, Barcelona, 1991, 169 p.

Díez-Cascón, J. y Bueno Hernández, F. (2001) Ingeniería de presas de fábrica. Ediciones Universidad de Cantabria, 2001, 932 pag.

Fernández Cánovas, M. (1980) Entumecimiento higrométrico del hormigón. Materiales de Construcción. IETcc. N° 383. pp.: 27-41.

López Garello, C. M<sup>a</sup>. (1999) Análisis microestructural del hormigón utilizando elementos finitos de interfase. E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. U.P.C. 28 de junio de 1999.

Oliver, J.; Oñate, E.; Bugeda, G.; Feliu, T.; Herrero, E. (1985) Un modelo numérico para análisis de la seguridad en presas de gravedad bajo cargas internas. Primeras Jornadas Españolas de Presas. Madrid, 1985.