

La presa de La Tajera, cercana a Madrid, se terminó de construir en 1991. La presencia de una importante fisuración en el paramento aguas abajo, aconsejó, por razones de prudencia, no realizar el llenado del embalse hasta que el problema no hubiera sido estudiado y resuelto. Entre el 2001 y el 2002 se ejecutaron todos los trabajos de reparación, utilizando materiales y tecnologías de última generación. Al tiempo que se realizaban estas obras, se adecuó la instrumentación de la presa.

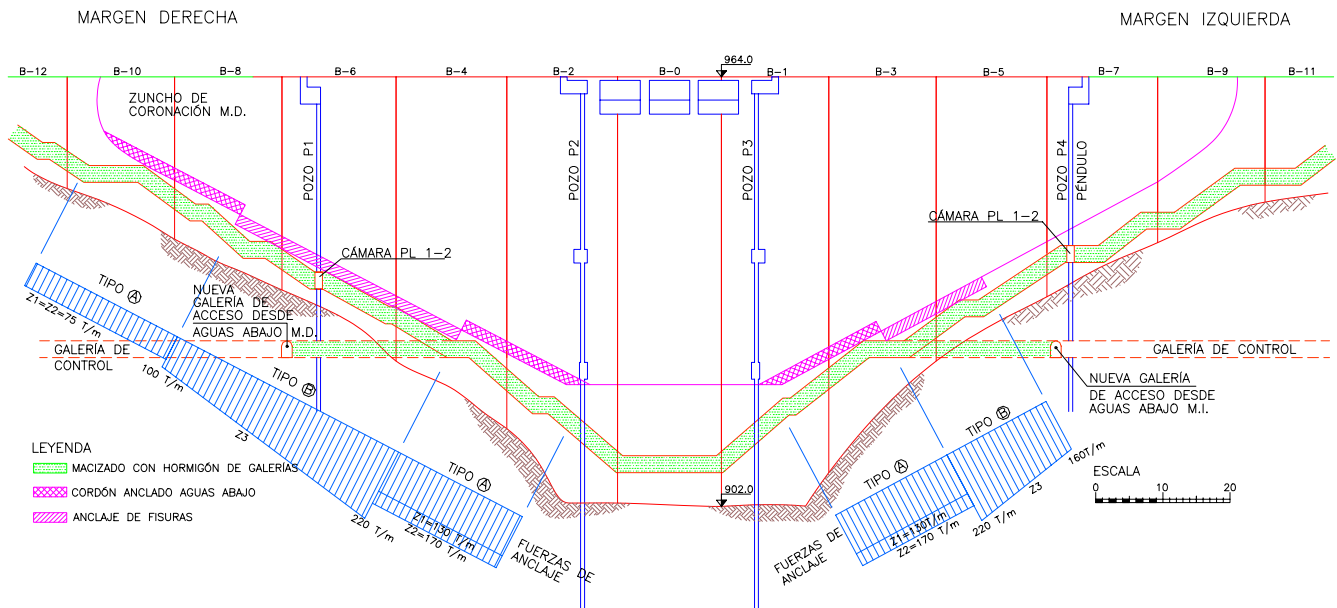


Figura 1. Esquema general de los trabajos ejecutados

1- INTRODUCCIÓN

La Presa de La Tajera, situada en el río Tajuña, T.M. de El Sotillo (Guadalajara) es el elemento fundamental de la regulación de dicho río.

La tipología de la Presa es de tipo bóveda de doble curvatura, con 62 m de altura sobre cimientos, 220 m de longitud de coronación y volumen de embalse de 68 Hm³.

Con las obras de construcción prácticamente terminadas, incluso la inyección de juntas entre bloques, durante julio de 1.991 se detectó una fisura en el paramento de aguas abajo, a lo largo de la transición entre bóveda y zócalo, y extendiéndose hasta la clave de la galería perimetral. Esta situación se generó con el embalse totalmente vacío y temperaturas elevadas.

Para evaluar la influencia de esta fisura en la seguridad de la Presa y las acciones a adoptar para conseguir un comportamiento correcto de la misma, se encargó al profesor Lombardi, que estudiase la situación generada por este agrietamiento, a fin de proponer las medidas correctoras que sirvieran de base al proyecto de reparación de la Presa.

El resultado del estudio fue la propuesta de las siguientes medidas:

- Macizado de la galería perimetral y parte de las galerías de reconocimiento de estribos.
- Inyección de las fisuras con resinas epoxídicas.

- Anclado y posterior tensado de las zonas traccionadas y afectadas por las fisuras.
- Otros trabajos auxiliares (apertura de galerías, pozos de acceso, reposición de aparatos de auscultación, etc.)



Figura 2. . Vista general de la presa y de los trabajos exteriores en la margen izquierda.

2- MACIZADO DE GALERÍA

El macizado de la galería tenía por objeto reforzar la sección estructural de la presa. Por razones tanto de disipación de calor, como para mejorar la capacidad de transmisión de esfuerzos cortantes, no se realizó el hormigonado de la galería directamente en contacto con el hormigón existente, sino contra un encofrado perdido de chapa plegada.



Figura 3. Vista de la galería antes del macizado. Se aprecia la chapa plegada en clave y hastiales, así como los conectores en el suelo.

En primer lugar, se procedió, por el método de hidrodemolición, con presiones de hasta 1.200 bares a escarificar la superficie de hormigón existente. En el suelo se colocaron conectores de acero, sin embargo en hastiales y clave, se dispuso chapa corrugada de acero. Los oportunos separadores crearon un espacio entre chapa y hormigón de 5 cm.

Se bombeó hormigón en masa de cuidadísima dosificación y de bajo calor de hidratación, desde las partes más bajas hacia arriba para reducir al máximo la formación de coqueas. Se colocó un sistema de refrigeración y se controló la temperatura, no superándose los 18 °C de incremento.

Se puso especial cuidado en mantener la continuidad de drenes y sistemas de auscultación, utilizando los debidos sistemas de protección.

Concluido el macizado se procedió a la inyección del espacio entre la chapa y el hormigón de clave y hastiales que previamente había sido puesto en obra. Se empleó un mortero fuertemente aditivado con polímeros, superfluidificantes y compensadores de retracción. Los testigos extraídos una vez endurecido tanto el mortero como el hormigón dieron una excelente unión entre los diversos materiales.

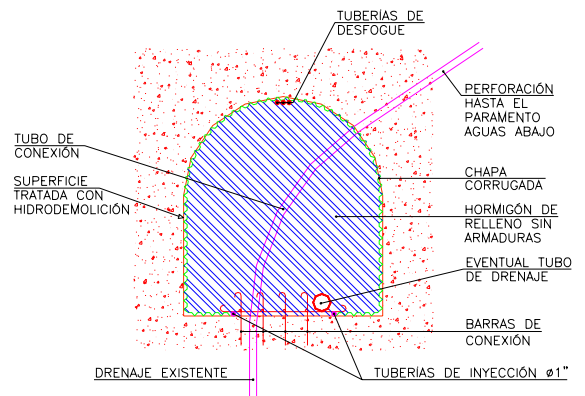


Figura 4. Sección esquemática de la galería, el macizado de hormigón, la chapa y el desvío de drenes

3- SELLADO DE FISURAS

Para el sellado de fisuras se utilizó una tecnología desarrollada en España, aplicada con éxito en una veintena de presas en nuestro país. Se trata de la inyección de resina epoxi de muy alta viscosidad, mediante bombas de alta presión. Lo novedoso de esta tecnología es que permite la reconstrucción de una estructura, devolviéndole su monolitismo mecánico inicial gracias a la elevada presión a la que se hace circular la resina.

El parámetro de control de la inyección, a diferencia de lo que ocurre con las lechadas de cemento, no es la presión, sino los desplazamientos de la estructura.

El proceso tiene las siguientes fases:

3.1. Perforación de localización:

Se realiza a rotación con sonda de diamante y recuperación de testigo, lo que permite, realizar un exacto replanteo de la posición de la fisura. Además, con la rotación se evita introducir indeseables detritus en el interior de la fisura. Los testigos permiten analizar, asimismo el estado del hormigón. De esta forma se comprobó que, además de la fisura principal existían otras familias de microfisuras en planos paralelos en unos casos y perpendiculares en otros. Cada taladro se dotó de un obturador-inyector.

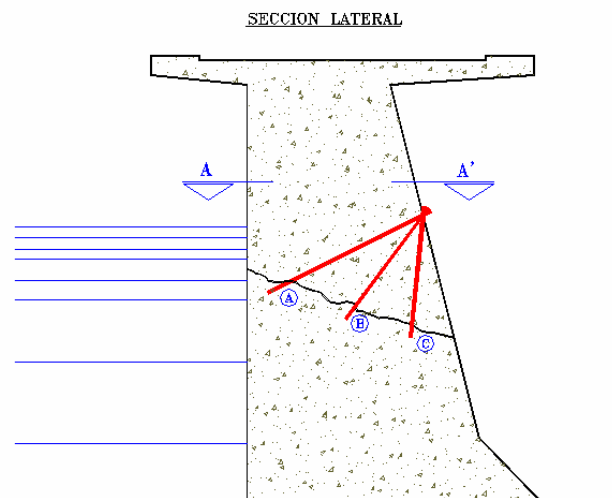


Figura 5. Esquema de taladros de reconocimiento e inyección. La disposición de los taladros en abanico permite determinar con exactitud la posición de la fisura en cada perfil.

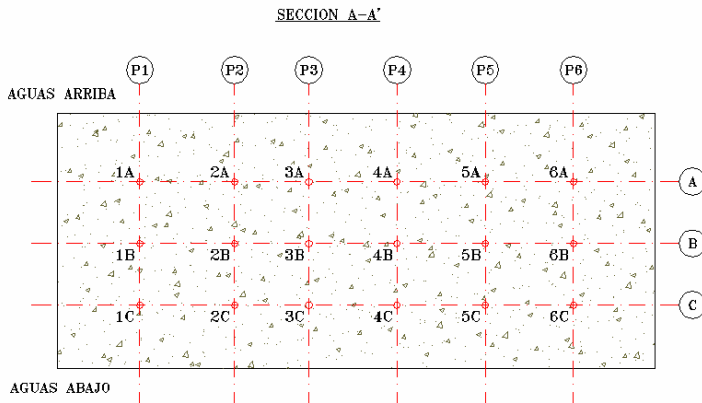


Figura 6. En planta se representa la proyección plana de la fisura y la intersección de cada taladro con ella.

3.2. Pruebas de agua

Se bombeó agua por cada uno de los taladros, lo que además de limpiar el detritus introducido en la fisura durante la perforación, permite conocer las comunicaciones entre ellos así como tener una idea del espesor de la grieta en cada zona.

Durante el proceso se toma nota de caudales de agua a través de cada taladro, en función de la presión de bombeo. Se apunta también la comunicación entre taladros y los puntos de salida de agua al exterior. El análisis de esta información permite diseñar la inyección, elegir la viscosidad de la resina óptima para cada zona, prever consumos y establecer la secuencia de inyección.

3.3. Labios de la fisura

El exterior de la fisura se dejó abierto, sin ningún tipo de sellado. Por cuestiones medioambientales se colocó un canalón para la recogida de eventuales vertidos.

En correspondencia con cada uno de los perfiles de inyección se instaló un micrómetro. Una vez concluido el trabajo, se eliminó el canalón, se limpió el paramento, se cortaron los obturadores y se sellaron con mortero de reparación.

Por razones de seguridad, se dispuso que la inyección se detuviera por un taladro cuando su micrómetro correspondiente marcara una abertura de fisura de 0,5 mm. El mayor movimiento detectado a lo largo de la obra no superó 0,05 mm.



Figura 7. Micrómetros dispuestos en la fisura y canaleta de recogida de excedentes de resina, durante el proceso de inyección.

3.4. Inyección

La inyección se realizó con una formulación de resina epoxi de una viscosidad semejante a una miel espesa (1.200 cp). Dado que la fisura se encontraba saturada como consecuencia de las pruebas de agua, la formulación utilizada tenía la propiedad de endurecer y adherir al hormigón en inmersión.

Concluidos los trabajos se extrajeron testigos del hormigón, que fueron sometidos a ensayos de compresión.

Tanto de la inspección visual de los testigos como de los ensayos de rotura posteriores y sus resultados se concluye que este procedimiento de inyección a alta presión consigue recuperar el monolitismo estructural.

4- ANCLAJES

El proyecto contemplaba además del sellado con resina, el cosido de la fisura con 340 anclajes de hasta 100 t cada uno, realizados con barras de alta resistencia.

La dificultad estuvo en que la zona de anclaje, al ser de hormigón no se podía inyectar formando el clásico bulbo. El anclaje se realizó por adherencia utilizando un mortero hidráulico fuertemente aditivado con polímeros.

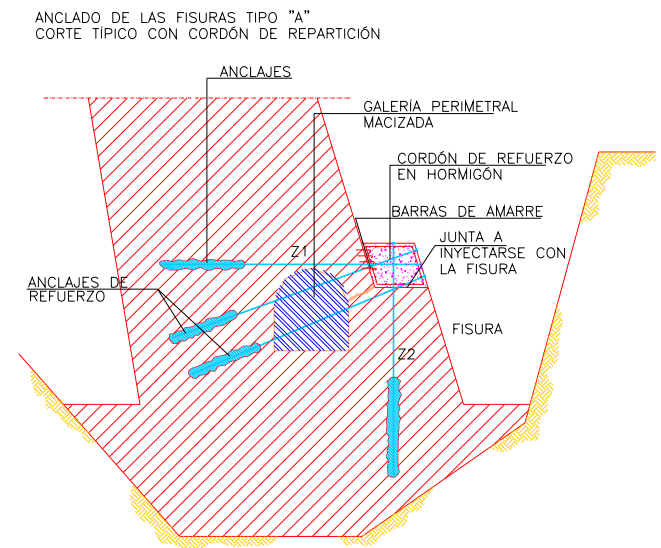


Figura 8. Disposición de los anclajes.

5- NUEVAS GALERÍAS DE ACCESO

El macizado de las galerías obligó a abrir nuevos caminos de acceso a la instrumentación. Para ello se perforaron dos pozos mediante taladros tangentes a rotación y se excavaron dos galerías en roca en ambos estribos.

Esta excavación se llevó a cabo con explosivos, por lo que se dotó a la presa de sismómetros que controlaron todo momento el efecto de las voladuras sobre la presa.

6- SISTEMA DE AUSCULTACIÓN

La ejecución de la obra requirió la adaptación de parte del sistema existente de auscultación, como péndulos, sensores de medida de diversas topologías, etc.

Además se instaló nuevos extensómetros de varilla, se realizó una renovación con elementos de última generación de los sistemas de adquisición y transmisión de datos. El conjunto se completó con una nueva línea de comunicaciones de fibra óptica

7- DATOS RESUMEN

7.1. Macizado de galería perimetral

- 1500 m³ de hormigón en masa bombeado.
- 2000 m² de picado de paredes de galería (manual y por hidrodemolición).
- 1900 m² de chapa corrugada en el perímetro de la galería.
- 160.000 Kg de cemento inyectado en el contacto de las galerías y juntas de contracción verticales entre bloques.

7.2. Anclado y tratamiento de fisuras

- 1000 ml de perforación con recuperación de testigo de D= 46 mm, hasta interceptar fisura.
- 4000 litros de resina epoxi bicomponente de media viscosidad inyectada para sellado de fisuras.
- 229 Ud. de anclaje doble protección con barras postensadas Dywidag 36 mm. ST-1080/1230 para una fuerza de anclaje de 100 t/cu, formado por un tramo de 3 m de longitud de bulbo inyectado en taller y un tramo de 4.5 m de longitud libre.
- 112 Ud. de anclaje doble de protección con barras postensadas Dywidag 26.5 mm. ST-900/1030 para una fuerza de anclaje de 50 t/cu, formado por un tramo de 3 m de longitud de bulbo inyectado en taller y un tramo de 4.5 m de longitud libre.

7.3. Adaptación del sistema de captación de drenes

- 250 m de perforación a rotación de D= 76 mm para continuación de drenes hasta paramento de aguas abajo.
- 300 m de tubería de PVC reticulado de doble pared para conexión del drenaje.

7.4. Nuevas galerías de acceso en roca

- 325 m³ de excavación en roca mediante explosivos. Aproximadamente 56 ml de sección abovedada de 2.20 x 1.5, más portales de acceso.
- Sistema de control de vibraciones compuesto por cuatro grupos triaxiales XYZ, dos geófonos verticales y un geófono horizontal.

7.5. Perforación de pozos de acceso a cámaras de plomada

- 350 m de perforación a rotación de D= 86 mm, de taladros tangentes de 4 metros de longitud.
- Extracción mecánica de macizos cilíndricos de D= 1 m y longitud 4 m.

7.6. Adaptación del sistema de auscultación

- Nueva línea de comunicaciones de fibra óptica e instalaciones de presa.
- Adaptación de última generación del sistema automático de adquisición y transmisión de datos.
- Nuevos extensómetros de varilla.

- Adaptación de sensores y sistema de auscultación existente en la presa (péndulos, temperaturas, movimientos, etc.).



Figura 8. Momento del izado del bloque de hormigón, precortado con taladros tangentes, para nuevo acceso al nicho de un péndulo.

CONCLUSIONES

La aplicación de nuevas tecnologías como son las inyecciones de materiales sintéticos permite tanto el sellado como la recuperación del monolitismo estructural del hormigón fisurado.

El empleo de resinas epoxi capaces de endurecer y adherir bajo agua, permite realizar los trabajos de reparación, independientemente de la cota de embalse, y por lo tanto no está subordinada a los tiempos que marcan las necesidades de explotación.

www.hcc-es.com

Avda. Euskadi 5. 28917 Leganés. Madrid
Telf. 916108506. Fax: 916107827

Dpto. Comercial: virginia@hcc-es.com

