

## INSPECCIÓN Y TRATAMIENTO DE IMPERMEABILIZACIÓN DE LA PRESA DE MATERIALES SUELTOS DE CASPE MEDIANTE INYECCIÓN DE MICROCEMENTO SPINOR A12

### Introducción

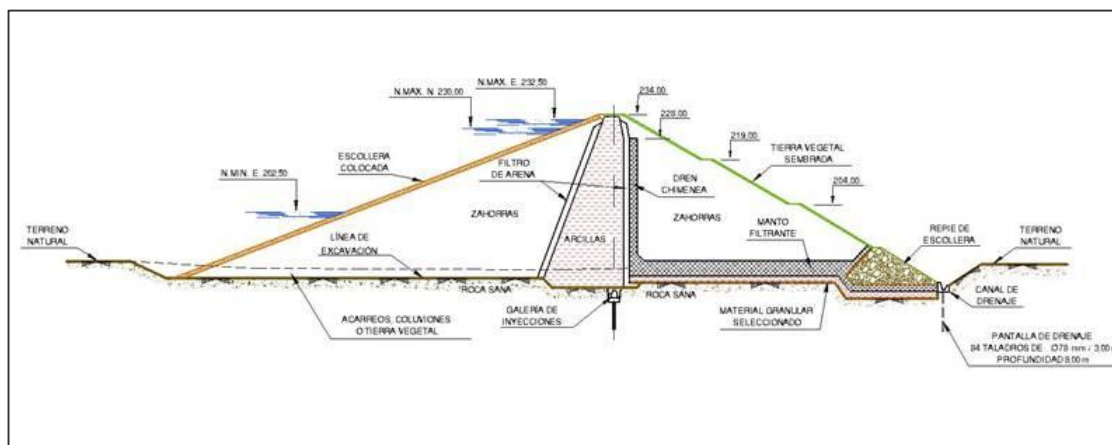
En este artículo se presentan los trabajos desarrollados para la inspección y caracterización de las filtraciones observadas en la presa de Caspe (Zaragoza), así como los tratamientos posteriores consistentes en inyecciones de microcemento SPINOR A12, llevados a cabo como actuación de emergencia para eliminar dichas filtraciones.

En julio de 2003 un ascenso de los niveles en los piezómetros de control pusieron de manifiesto la existencia de importantes filtraciones a través de los estribos y la parte central de la cimentación de la presa.

Los trabajos de investigación aquí descritos se iniciaron en agosto del mismo año y fueron realizados por la sociedad GEA-MEDIOAMBIENTE con la colaboración de KELLERTERRA que se encargó en esa primera fase de la perforación de los sondeos de reconocimiento. Esta última sociedad fue igualmente la encargada de realizar los tratamientos de impermeabilización.

La presa de Caspe se encuentra situada sobre el río Guadalupe, en el término municipal de Caspe (provincia de Zaragoza). La presa fue construida entre los años 1983 y 1987 y pertenece a la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). Su tipología corresponde a la de una presa de materiales sueltos zonificada, con núcleo central impermeable de arcilla y espaldones de zahorra protegidos por escollera. La presa presenta una altura sobre cimiento de 41 m, una longitud de coronación de 400 m y una capacidad de embalse de 81,6 Hm<sup>3</sup>.

Los materiales que forman el terreno sobre el que se cimenta los constituyen una alternancia de margas (en ocasiones yesíferas), areniscas y yesos, dispuestos de forma subhorizontal.



*Figura 1.- Sección de la presa de Caspe.*

### Estudios Previos

Con el objetivo de determinar el origen del problema se realizaron una serie de estudios previos. Estos estudios fueron de tipo geológico, geotécnico, geofísico e hidrogeológico. Para ello, se perforaron un total de 14 sondeos a rotación en el exterior de la presa, con extracción continua de

testigo con batería doble de  $\varnothing 96$  mm de diámetro y corona de diamante. Además, desde una galería perimetral interior se perforaron 13 sondeos más, de iguales características a los anteriores pero con diámetro  $\varnothing 56$  mm. Los sondeos alcanzaron profundidades variables entre 30 y 100 m y se dispusieron a lo largo de todo el perfil longitudinal de la presa; en total se perforaron cerca de 1.300 metros.



Foto 1.- Vista de la presa de Caspe.

En los sondeos se llevó a cabo una testificación geofísica con el registro de diferentes parámetros (temperatura, conductividad, resistividad, radiación gamma natural, etc.). También se realizaron ensayos *cross-hole* para establecer el material existente entre dos sondeos. En este ensayo, la determinación del terreno se realiza en función de la velocidad de propagación de las ondas de compresión ( $V_p$ ).

Igualmente, sobre el cuerpo de presa se realizaron perfiles tomográficos, los cuales ayudaron a poner de manifiesto las zonas de filtraciones.

Con el mismo objetivo de determinar las zonas por las que se producía la pérdida de agua y que deberían ser objeto de tratamiento se realizaron ensayos de trazadores. Los trazadores empleados fueron de tipo salino y fluoresceína.

En lo que a evaluación de la conductividad hidráulica del terreno propiamente se refiere se realizaron ensayos consistentes en el rebaje del nivel freático para ver su posterior recuperación.

Completó la investigación un amplio estudio hidrogeoquímico basado en el análisis de las muestras de agua tomadas para su ensayo en laboratorio. El objetivo de caracterizar el agua era contribuir en el conocimiento del origen de las filtraciones. Para ello, el análisis geoquímico se basó por un lado en el estudio de propiedades fundamentales del agua (calidad, pH, conductividad, dureza, alcalinidad, concentración de iones,



Foto 2.- Trabajos en interior de galería perimetral.

residuo seco, etc.) y por otro en el estudio de determinados isótopos (Deuterio H<sup>2</sup>, Tritio H<sup>3</sup> y oxígeno O<sup>-18</sup>).

Los análisis químicos permitieron establecer el grado de evolución de las muestras de agua obtenidas en los sondeos respecto al de las aguas embalsadas. En este sentido, un mayor grado de evolución corresponde a: una mineralización más acusada, una conductividad también muy elevada en relación al agua del embalse y en el caso concreto de Caspe a un pH también más alto (7,4-7,9). Las aguas más evolucionadas se encontraron bajo la cimentación de la presa y en la pantalla drenante. Las aguas muestreadas en los estribos se encontraban poco evolucionadas, lo que daba indicación de pérdidas.

Por su parte, los análisis isotópicos permiten establecer la procedencia de las aguas, como por ejemplo si corresponden a aguas de precipitaciones en la zona, sin alterar por evaporación y que se han infiltrado de forma directa.

### **Filtraciones**

A partir de los estudios descritos se detectó la presencia de filtraciones a través de discontinuidades del macizo y asociadas a procesos de disolución (karstificación). Igualmente, se pudo diferenciar un comportamiento químico entre las aguas filtradas por el estribo derecho y las filtradas por el estribo izquierdo, tratándose las primeras de aguas saturadas (y por lo tanto menos activas, desde el punto de vista químico, que las del estribo izquierdo).

El caudal filtrado se estableció en unos 19 m<sup>3</sup>/día, siendo, como se desprendía de los análisis descritos, los estribos con 7 y 9 m<sup>3</sup>/día, para el derecho e izquierdo respectivamente, los puntos de mayor filtración. El resto correspondía a la zona central del cuerpo de presa.

La disposición de las zonas filtrantes (y por lo tanto a tratar) se estableció de la siguiente manera:

- en la parte central de la presa y por debajo del cimientado se encontraban en dos zonas, una en los 10 primeros metros y otra entre unos 30 y 35 metros; la tipología de las zonas filtrantes correspondía a microfisuras de poca continuidad lateral.
- en el estribo izquierdo se localizaban tres zonas (15-20 m, 25-30 m y 35-40 m) presentando mayor entidad y una continuidad elevada.
- el estribo derecho presentaba las zonas filtrantes a profundidades entre 10-15 m, 30-35 m y alrededor de 50 m, desde coronación. En este caso se trataba de fracturas con cierta continuidad lateral y que casi alcanzaban la zona de cimentación de la presa.

### **Tratamiento**

Una vez determinadas las zonas por las que se producían las filtraciones se procedió a su tratamiento. Éste consistió en inyecciones de impermeabilización realizadas con microcemento SPINOR A12. Como se ha indicado anteriormente, los trabajos fueron ejecutados por la empresa especializada KELLERTERRA.

Desde la detección del problema hasta la fecha se han perforado a destroza unos 8.700 metros. La inyección se ha realizado en distintas fases con 300 Tn de SPINOR A12 suministrado a granel, aunque también se realizaron algunas inyecciones de cemento convencional (CEM I 42,5 N/SR). Para realizar la inyección desde la galería perimetral se tuvo que montar toda una red de servicios (agua, aire, lechada y electricidad). El suministro de agua provenía de dos balsas de regulación con una capacidad total de 41 m<sup>3</sup> que se construyeron a los efectos.

Se instaló una planta para la elaboración automática de la lechada; la planta constaba de pesado y amasado automático con agitador de alta turbulencia y tanque de agitación lenta. La bomba empleada era de tipo neumático con un caudal de 20 l/min. Una bomba principal impulsaba la

lechada hasta la zona de trabajo para luego realizar la inyección de cada taladro con la ayuda de un equipo ligero.

Los taladros de inyección se dispusieron cada 3 metros como tratamiento en la pantalla de impermeabilización; la profundidad de cada uno de ellos fue la adecuada para alcanzar cada una de las zonas descritas anteriormente.



Foto 3.- Perforación de sondeos a destroza en el exterior (estribo derecho).

La inyección se realizó por tramos ascendentes de 5 m. Se inició la inyección con microcemento y si se superaban las consignas establecidas de volumen, se pasaba a cemento, para volver a pasar a microcemento cuando el taladro no admitía más.

La consigna fue de 100 l admisión/metro lineal. En caso de no coger presión se pasaba a cemento normal en la cantidad que fuera necesaria hasta alcanzar 3 atm, para después cerrar con microcemento hasta 5 atm, viniendo limitados tanto el microcemento como el cemento por la presión alcanzada y no por la cantidad total inyectada.

Por último, como elemento de control de la efectividad del tratamiento se dispusieron un total de 27 piezómetros (15 de cuerda vibrante y los 12 restantes de tipo abierto).

### Conclusiones

Las inyecciones se efectuaron acorde al proyecto definido y las admisiones se mostraron adecuadas en las zonas inyectadas. En las zonas tratadas las filtraciones de agua se han cortado en su práctica totalidad, mostrando la idoneidad de la solución con microcemento que además presenta elevadas garantías de durabilidad del tratamiento dada la capacidad resistente del microcemento Spinor a la acción de los sulfatos presentes en la zona, como resultado del bajo contenido en aluminato tricálcico C3A del microcemento A12 (<1,5 % en peso).