

**INYECCIÓN RETOMAS CON FÓRMULAS EPOXÍDICAS ACUAESTABLES EN PRESAS. PRESA DE CANELLES. LÉRIDA.**



Figura 1. Vista general de la Presa de Canelles. Lérida

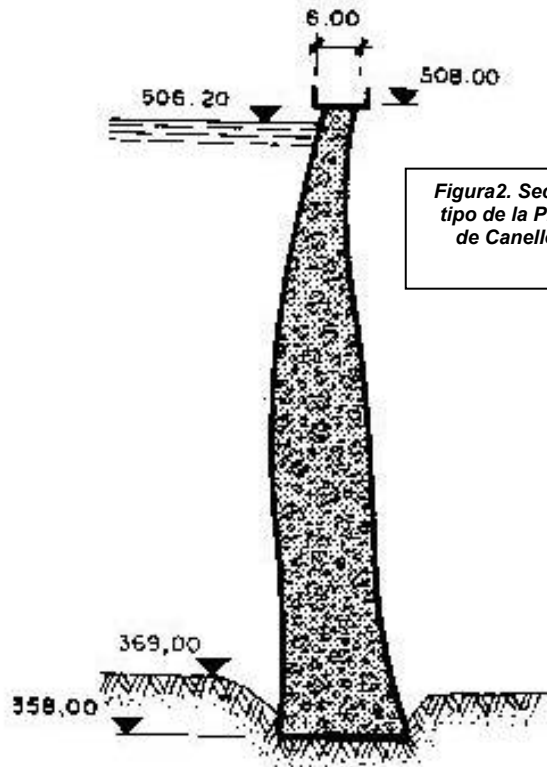


Figura 2. Sección tipo de la Presa de Canelles.

**1.- INTRODUCCIÓN.**

El embalse, propiedad de **ENDESA**, recoge las aguas del río Noguera-Ribagorzana en su tramo medio y las del río Guart. El agua del río Noguera procede en su mayoría del embalse de Escales, a partir del cual circula entubada y por un canal que desagua en la Central Puente de Montañana situada a unos 2,5 km aguas arriba de la cola de Canelles. El uso principal del embalse es la producción de energía eléctrica, que se realiza en una central subterránea existente a pie de presa.

En la gestión normal del embalse, el agua se vierte por la toma hidroeléctrica situada en la margen izquierda y se conduce por una tubería forzada hasta la central situada a pie de presa. Ésta tiene una potencia de 107.000 KW y el caudal de turbinación es del orden de unos 45 m<sup>3</sup>/s diarios. El agua turbinada se restituye al río a unos 400 m de la presa. Los desagües de fondo se maniobran periódicamente, si bien no se usan en la gestión ordinaria del embalse.

Esta presa, diseñada por Eduardo Torroja, tiene las siguientes características:

1. Año de terminación: 1.960.
2. Propiedad: Endesa.
3. Tipología: presa bóveda-cúpula.
4. Altura de presa: 150 m.
5. Longitud de coronación: 210 m.
6. Volumen de embalse: 678 hm<sup>3</sup>.

Es de señalar que su diseño es bastante atípico, ya que su proyecto fue la consecuencia de un modelo previo a escala reducida. De ahí lo poco convencional de sus secciones. También es de destacar la ausencia de galerías en el cuerpo de presa.

En la figura adjunta, se aprecian estas características.

**2.- FILTRACIONES EN LA PRESA DE CANELLES**

La presa de Canelles presentaba filtraciones por varias retomas o juntas frías de hormigonado y por varias juntas verticales. Se decidió tratar en esta campaña las situadas en la parte superior de la margen izquierda del cuerpo de presa (bloques situados entre las juntas 00 y 4), cotas 8,20, 14,00, 19,00, 20,80 y 23.20 m



Figura 3. Replanteo de retomas a tratar

Así, con objeto de coserlas (restituyendo el monolitismo estructural de la presa) e impermeabilizarlas (dando fin a las filtraciones existentes), ENDESA decidió llevar a cabo un plan de inyecciones con resinas epoxi. Para ello, en primer lugar se realizó una identificación de las retomas, como se aprecia en la figura 3.

A partir de las secciones, se dibujaron los planos de las retomas a tratar, colocando en ellos la intersección de los taladros de inyección. A partir de este reparto, se estableció la posición óptima de las máquinas de perforación que consiguiera la menos longitud de taladros. En un principio estaba previsto, dado que no existen galerías, llevar a cabo la perforación desde coronación y desde el paramento aguas abajo. La falta de lluvias permitió, sin embargo trabajar también desde el paramento aguas arriba.

Los trabajos de HCC consistieron en:

1. Implantación en obra.
2. Identificación de las retomas y/o juntas a tratar y marcado de la longitud de las mismas.
3. Instalación de andamios colgantes motorizados.
4. Replanteo de los puntos de emboquillamiento de las perforaciones.
5. Perforación a rotación mediante corona de diamante, con recuperación de testigo, de diámetro 46 mm, a diferentes profundidades e inclinaciones.
6. Obturación para inyectar a alta presión, en boca de taladro, y pruebas con agua.
7. Colocación de canaleta para recogida de eventuales fugas de resina.
8. Inyección de retomas y/o juntas frías de hormigonado, mediante formulaciones epoxídicas (diferentes rangos de viscosidades).
9. Control de deformaciones del bloque mediante batería de comparadores.
10. Corte de los obturadores y sellado de los taladros.
11. Desmontaje de andamios motorizados colgantes, limpieza de obra y posterior recogida de obra.

### **3.- DIFICULTADES EN OBRA**

Es una presa muy atípica, fue diseñada por D. Eduardo Torroja, No cuenta con galerías por donde hubiese sido posible ejecutar la perforación más fácilmente, así que, se tuvo que instalar un sistema de andamios colgante motorizados que permitieran desplazarse en vertical y en horizontal en las zonas donde se plantearon los trabajos.



**Figura 4. Sistema de andamios colgantes motorizados aguas debajo de la presa**



**Figura 5. Pescantes señalizados del sistema de andamios colgantes motorizados aguas arriba de la presa**

### **4.- TRABAJOS DE PERFORACIÓN, OBTURACIÓN Y PRUEBAS CON AGUA.**

Se ejecutaron 166 taladros en hormigón, con una longitud de perforación total de 904 metros. Las perforaciones máximas superaron los 9 m de longitud, siendo la longitud media de taladro 5,50 m. La perforación se realizó, desde andamio colgante, con sonda eléctrica a rotación dotada de corona de diamante, con extracción continua de testigo, en diámetro comercial de 46 mm.

Se obtuvo en la proximidad de la boca de taladro, ya que aunque se tenía un conocimiento preciso de su posición, se optó por inyectar, además, los posibles planos de juntas fría formados durante la construcción de la presa, y de fisuración y/o microfisuración existentes entre la boca de taladro y el plano de retoma y/o junta a tratar (un espacio de 1,5-1,75 m de espesor). Todos los obturadores eran aptos para inyectar a altas presiones e iban roscados en boca, donde se acopló una llave de bola de 1/2".

Las pruebas de agua, que se realizaron previas a la inyección, tuvieron una importancia fundamental, ya que permitieron conocer las comunicaciones entre taladros, la situación exacta de la retoma y la presencia de fugas.



**Figura 6. Perforación desde andamio, tanto aguas arriba como aguas abajo**

### **5.- TRABAJOS DE INYECCIÓN.**

Primeramente, se llevó a cabo una "prueba" en los bloques 4-3 y 3-2 en la retoma 2, para obtener consumos medios por retoma y taladro, viscosidad de la mezcla óptima, apertura de retoma válida, etc, el día 14 de Octubre de 2.004.



El orden de inyección fue de la junta 4 hacia la junta 2, desde los taladros de aguas arriba hacia los taladros de aguas abajo. Se fijó una admisión por m<sup>2</sup> de retoma de 4 kg como primera hipótesis, que se vino a confirmar de manera muy aproximada. Se produjeron comunicaciones entre taladros adyacentes (1 – C con 2 – B de retoma 2 de bloque 3-2) y por los labios de aguas arriba y aguas abajo.

La mezcla de resina que se empleó fue la HCC-MV, resina de media viscosidad. La cantidad total de resina inyectada fue de 700 kg, tratando un total de 160 m<sup>2</sup> de retoma, aproximadamente. Se repartieron de la siguiente manera: 400 kg en el bloque 3-2 y 300 kg en el 4-3. No se empleó ningún tipo de espesante adicional.



**Figura 7. Operarios de HCC inyectando desde andamio colgante con inyectora de resinas suspendida mediante camión grúa.**

Para el control de esta primera toma de contacto con la inyección de las retomas, se dispusieron relojes comparadores digitales de lectura de 1/100 de mm a fin de evaluar los posibles movimientos de los bloques de la presa, así como los posibles empujes de los bloques contiguos.

La máxima apertura de la junta fue definida por la Propiedad. El valor dado fue de 3 décimas de milímetro, bajándose a 1,5 más adelante. Cuando se superó éste, se suspendió inmediatamente la inyección por el taladro en que se estaba realizando.

Ya en días posteriores a la primera inyección, se efectuaron 4 perforaciones repartidas equidistantemente en la zona a investigar, con una inclinación de 45° a un metro de altura su punto de emboquillamiento del plano de retoma inyectado, que lo intersectaron a 1 metro en planta encontrando la resina inyectada perfectamente polimerizada y adherida al hormigón.

A partir de los datos obtenidos en la “prueba de inyección”, se procedió a la inyección de los restantes bloques.

En total, se consumieron 174 obturadores de alta presión de diámetro 44 mm, 1.860 kg de resina de media viscosidad, 3.550 kg de resina de baja viscosidad, que hicieron un total de 5.410 kg de resina. Esto supuso una media de 31,10 kg de resina por taladro inyectado y como se trataron 1.350 m<sup>2</sup> de retoma, 4,05 kg por m<sup>2</sup> sellado.

Los obturadores, una vez polimerizada la resina, se cortaron a ras de paramento y se sellaron con mortero de regeneración estructural.

Como hecho más relevante a destacar, debido a las bajas temperaturas que se dieron durante las noches previas a la inyección, se dispusieron en las zonas de acopio calefactores para mantener las condiciones óptimas de almacenamiento.



**Figura 8. Almacén de resinas con radiadores en funcionamiento para mantener óptimas condiciones**

## **6.- RESULTADO DE LA INYECCIÓN.**

Al finalizar todos los trabajos de inyección de las retomas de hormigonado y transcurrido un tiempo prudencial para asegurar que la formulación alcanzase un grado de reticulación suficiente, se realizaron 6 perforaciones horizontales de D = 100 MM y longitud 0,45 m, de control con extracción de testigo inalterado mediante sistema TT.

Este control tiene la finalidad esencial de determinar la superficie de la fisura que ha sido rellenada. Si hubieran quedado zonas significativas no colmatadas, se debería realizar una segunda campaña de inyección, que no fue el caso.



**Figura 9. Testigo extraído de D = 100 mm donde se aprecia el resultado óptimo de la inyección ejecutada**

Tres de estas probetas fueron llevadas a ensayar al Instituto Eduardo Torroja y los resultados fueron plenamente satisfactorios, rompiendo todas por el hormigón viejo.

Una vez recorridos los tajos donde se llevaron a cabo las obras con los representantes de **ENDESA** y recibido el visto bueno a los trabajos efectuados por **HCC** en la presa de Canelles, se procedió a la limpieza y al desmontaje de la obra, siendo el punto más significativo la limpieza del paramento de aguas debajo de la resina que había comunicado por los labios de las retomas y/o juntas tratadas y el posterior desmontaje de los andamios y demás medidas de Seguridad y Salud.



**Figura 10. Operarios de HCC limpiando el paramento de aguas abajo desde andamio**

## **7.- NUEVA CAMPAÑA DE INYECCIÓN 2.005**

Una vez dados por finalizados los trabajos contratados, se estima oportuno tratar mediante la misma metodología una retoma que se pone de manifiesto al cortar las filtraciones existentes en el bloque 4-3. Se la denomina retoma 5 y está a una cota 23.20 m de coronación, es decir, por debajo de todas las demás tratadas. Se tuvo que implantar en el bloque en cuestión, de nuevo, el andamio motorizado colgante.

Se perforan 12 nuevos taladros, con un total de longitud de perforación de 68,15 m.

Se obtuvo, también, en boca de taladro (12 unidades de obturadores) y las pruebas de agua que se efectuaron dieron datos similares a los obtenidos con anterioridad.

Se colocó canalón de PVC (10 m.l. recorriendo toda la retoma horizontal) para recoger los excedentes de resina que corrieron por el labio de aguas abajo y se dispusieron 6 unidades de reloj comparador, una en cada perfil. La limitación siguió siendo de 15 centésimas de mm y no se registró medición superior en ninguno.

El consumo de resina en a inyección fue de 420 kg de baja viscosidad. Se trataron 80 m<sup>2</sup> de retoma, por lo que de media se emplearon por m<sup>2</sup> de sellado 5,25 kg de resina.

Una vez terminada la inyección, se cortaron a ras los obturadores y se sellaron los taladros con mortero de regeneración estructural.

Se procedió a desmontar el canalón y a quitar los relojes comparadores. Se desinstaló el sistema elevador de andamios y se limpio las zonas de trabajo, dejándolas como se encontraban antes de iniciar los trabajos.

Así, se dio por concluida esta segunda y última campaña de inyección.

## **8.- CONCLUSIONES A LOS TRABAJOS EFECTUADOS.**

El paso de agua del embalse al paramento de aguas abajo presenta tres aspectos negativos:

- Estético: El aspecto del paramento aguas abajo con la manifestación de auténticas cascadas, es lamentable. Da una terrible impresión de descuido, de falta de mantenimiento.
- Degradación en aumento: Con el paso del tiempo, el agua del embalse, al tener una importante capacidad de disolución de sales, va produciendo una lixiviación del cemento. Un simple despegue inicial entre tongadas, se ha comprobado tras la inyección, que ha dado lugar a separaciones de 1 a 3 mm.

- Desestructuración de la presa: Precisamente esos importantes espesores medios de las retomas de hormigonado lleva a que los bloques afectados no trabajen como un cuerpo sólido único, sino como un conjunto de piezas apilables. La transmisión de tensiones horizontales no se produce por resistencia del hormigón, sino por rozamiento. Un recálculo de la estructura en estas condiciones, con hipótesis de empuje máximo de embalse y acciones sísmicas, es muy posible que llevara a conclusiones poco tranquilizadoras.

En todo caso, la inyección de formulaciones epoxídicas viscotixotrópicas, a alta presión, consigue solucionar los tres problemas. Efectivamente el relleno de las retomas con masilla epoxídica, logra, en tiempo real su sellado, y por lo tanto su estanquidad. La excelente adhesión del material de inyección, incluso bajo agua, al hormigón, permite, como se comprueba en los ensayos llevados a cabo, restablecer la continuidad estructural, en definitiva recuperar su monolitismo.

La explicación o la razón de esa excelente adhesión se encuentran en dos factores. En primer lugar en la composición química del material, y en segundo, en la presión aplicada que consigue que la masilla, en su avance, microinyecte al hormigón. De esta forma se consigue un doble anclaje, por un lado químico y por otro físico.

Finalmente se debe resaltar que, a diferencia de las inyecciones tradicionales de lechada de cemento, donde uno de los parámetros de control más importante es la presión, al trabajar con polímeros visco-tixotrópicos, la metodología de seguimiento del trabajo cambia profundamente. Efectivamente, estos polímeros son líquidos no-newtonianos, lo que supone que requieren mucha energía para avanzar, independientemente de los rozamientos. Esta energía se le suministra al material, en forma de presión.

Las bombas utilizadas son capaces de dar hasta 400 bares, pero las pérdidas de carga son extremadamente elevadas. Además, las presiones se aplican sobre extensiones o superficies de masilla muy pequeñas, por lo que las posibilidades de producir importantes movimientos de la estructura, son nulas.

No obstante, como se ha indicado en el informe, se han dispuesto un gran número de comparadores, y se han establecido unas fuertes limitaciones en cuanto a los movimientos admisibles.

Las conclusiones más importantes del trabajo realizado, podrían sintetizarse en los siguientes puntos:

- Pese a las dificultades del trabajo desde andamios, las extremas medidas de seguridad han conducido a concluir los trabajos sin ningún tipo de accidente.
- Se ha tenido un escrupuloso cuidado con el medio ambiente, recogiendo los inevitables, aunque escasos, vertidos de resina fresca, entregándolos, junto al resto de botes, guantes, latiguillos, obturadores, etc, a una empresa especializada, para su correcto tratamiento.
- Se dispone de unos materiales y de una tecnología avalada por diez años de experiencia, que permite solucionar de una manera definitiva y sin afectar a la explotación, complejos problemas como los que presentaba la presa.

[www.hcc-es.com](http://www.hcc-es.com)

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

Dpto. Comercial: [virginia@hcc-es.com](mailto:virginia@hcc-es.com)

