

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

TRABAJOS DE NUEVA RED DE DRENAJE E INYECCIÓN DE CONSOLIDACIÓN DEL CIMIENTO EN LA PRESA DE DOIRAS

Eduardo Ortega¹

Javier Baztán²

Pablo Martínez Almagro³

RESUMEN: La presa de Doiras, ubicada sobre el río Navia en cerrada de pizarra, es una presa de hormigón de gravedad de planta curva, con altura máxima de 89 m. La presa disponía de red de drenaje de cimiento únicamente en sus bloques centrales, existiendo en las laderas algunos drenes cortos que proporcionaban caudales muy elevados y subpresión equivalente a la cota de embalse.

Por ello, se realizaron taladros de investigación en las márgenes, detectándose importante fracturación de la roca cerca del contacto. Se inyectó lechada de cemento con distintas dosificaciones, con embalse lleno, alcanzándose un resultado altamente satisfactorio, con sellado efectivo de las discontinuidades, lo que favoreció una drástica reducción de caudales aforados en los drenes y subpresiones.

¹ Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos -ENEL-VIESGO

² Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos -SOCOIN (Grupo Unión Fenosa)

³ Ingeniero de Obras Públicas -H.C.C.

Se perforó después una nueva red de drenaje de cemento, a rotación. Los drenes ejecutados en las áreas en las que se habían realizado las inyecciones de cemento, confirmaron la bondad, eficacia y calidad del tratamiento.

Se describen las patologías que presentaban presa y roca adyacente, las actuaciones realizadas para corregirlas y los resultados alcanzados, junto con recomendaciones para tratar este tipo de situaciones y variantes que pudieran presentarse, que requerirían un tratamiento con productos diferentes al cemento.

1. ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN.

La presa de Doiras (ver fig. 1), ubicada sobre el río Navia en una cerrada de pizarra metamórfica, con áridos pizarrosos, es de gravedad de hormigón y planta curva, con una altura máxima desde la cota de cimentación de 89 m. Como continuación del cuerpo de presa, en la margen derecha se sitúa el aliviadero de superficie. La sección de la presa es sensiblemente triangular con talud aguas arriba 0,05:1 y aguas abajo 0,76:1 (H:V). Su construcción data de 1934, con un recrecimiento en 1958. Tiene una clasificación A. La presa dispone de una galería de inspección perimetral a la que se accede por dos galerías transversales situadas aguas abajo, y con dos galerías horizontales (ver planos en la fig. 2).



Fig. 1: Imagen de la presa de Doiras desde aguas abajo

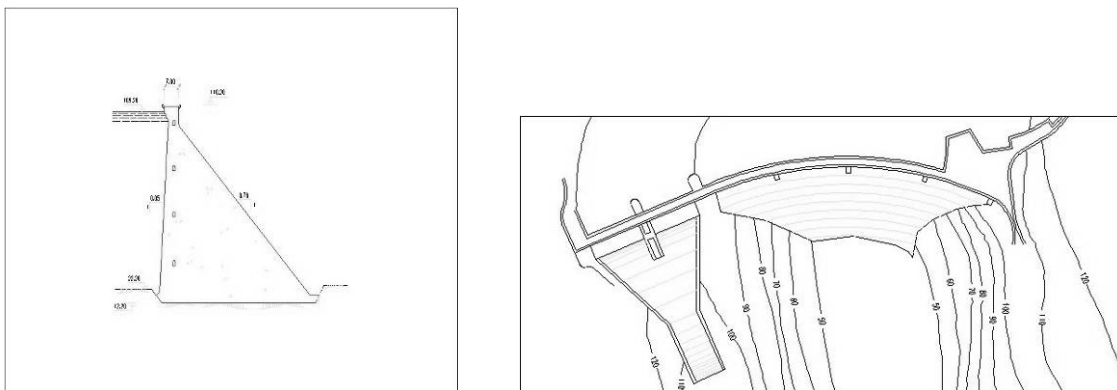


Fig. 2: Planos-croquis en perfil y planta de la presa

La presa contaba con una red parcial de drenaje de cemento desde galería perimetral, ubicada exclusivamente en sus bloques centrales, sin haberse prolongado en su día en las laderas, excepto en un número reducido de drenes cortos (tres en la margen derecha y uno en la izquierda) que proporcionaban

caudales muy elevados, de hasta 150 ó 200 l/min, y una subpresión equivalente a la cota de embalse (entre 4 y 5 kg/cm²), lo que parecía evidenciar una comunicación directa con el mismo. No existía en el archivo de la presa documentación que explicara la inexistencia de una red de drenaje completa, aunque parece que el hecho de encontrarse con caudales tan elevados pudo paralizar la ejecución de la misma.

La propiedad se marcó como objetivo examinar el estado de la cimentación en ambas laderas mediante la ejecución de taladros de investigación, perforados a rotación, tratando de delimitar las zonas afectadas y realizar una inyección de consolidación de las mismas en caso necesario, completando luego la red de drenaje, tanto en las márgenes como en la zona central.

La zona de trabajos presentaba serias dificultades por la acusada pendiente de las galerías. Esto se resolvió con la implantación de nuevas escaleras de acero inoxidable y empleo de plataformas de trabajo equipadas con redes anticaídas, adaptadas a las dimensiones de la galería, además de la utilización de líneas de vida, arneses y el resto de medidas de seguridad (ver fig. 3).

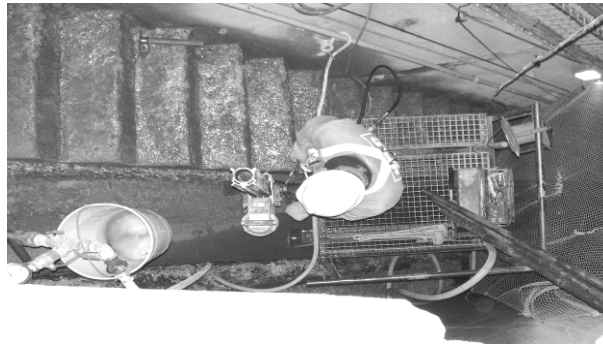


Fig. 3: Plataforma de trabajo implantada en obra

Con la ejecución de dichos taladros de investigación, se detectó la existencia en ambas márgenes de una importante discontinuidad cerca del contacto hormigón-roca. La realización de pruebas de agua con fluoresceína reveló que no había comunicación de aguas arriba a aguas abajo, ya que la discontinuidad se cerraba antes, adquiriendo una forma de cuña. Por ello, se optó por realizar una inyección de consolidación con cemento en todas las áreas afectadas, aún con embalse lleno. El resultado fue altamente satisfactorio, lográndose un relleno efectivo de las fracturas detectadas, lo que redundó en una drástica reducción de los caudales aforados en los drenes y de las subpresiones existentes en esas zonas.

Posteriormente se resolvió perforar una nueva red de drenaje en toda la galería perimetral de la presa, ya que la existente era deficiente debido escaso número de drenes y al estado de conservación de los mismos. Los nuevos drenes ejecutados en las áreas en las que se realizaron las inyecciones de cemento confirmaron la bondad, eficacia y calidad del tratamiento aplicado.

2. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.

2.1. ESTUDIO INICIAL DE LOS DATOS DISPONIBLES.

La propiedad, gracias al seguimiento y control de los aforos que realizaba habitualmente en la presa, detectó caudales muy elevados en los drenes de la margen derecha (1, 2 y 3), donde se aforaban hasta 200 l/min y en el dren 15 de la margen izquierda, en torno a 40 l/min. Estos aforos se registraban en función de la cota de embalse, de manera que si ésta aumentaba, lo hacían también los caudales de aforo, y viceversa.

Esto, sumado a los datos de que se disponía sobre la geología de la cerrada y a la escasa longitud de dichos drenes, hacía pensar que la comunicación con el embalse era directa, con lo que se sospechaba que el contacto en las márgenes estaba despegado o que existía una importante red de discontinuidades en las proximidades del mismo.

Así, después de un minucioso análisis de todos los datos de que se disponía, de los condicionantes de la obra, y tras diversas reuniones entre los responsables de las partes implicadas, se decidió ejecutar una serie de taladros a rotación en las márgenes, cerca de los drenes 1, 2, 3 y 15, para delimitar la zona de actuación y ver claramente cuál era la situación real.

A lo largo de la obra se mantuvieron diferentes encuentros entre la propiedad (**ENEL-VIESGO**), la dirección de obra (**SOCOIN**) y el contratista (**HCC**), en las que se analizó la marcha de los trabajos y se decidieron las medidas más adecuadas en cada momento.

2.2. MONTAJE DE OBRA.

El montaje de obra comprendió los preparativos de medios auxiliares y materiales a emplear, su transporte a obra, su ubicación en las zonas adecuadas, la coordinación del personal de obra, su desplazamiento a la zona de trabajo, la disposición de líneas de suministro de energía y agua y la instalación de medios e instalaciones según normativa vigente de Seguridad y Salud.

El hecho de que la entrada a la presa se hiciera únicamente por la margen izquierda, la necesidad de realizar los trabajos en las márgenes con plataformas de trabajo, además de la utilización de líneas de vida, arneses, etc, obligó a realizar una cuidadosa planificación de las labores a llevar a cabo, con el fin de minimizar en la medida de lo posible los diferentes desplazamientos y cambios de ubicación del personal, maquinaria, líneas de suministro, plataformas, etc.

Se procedió también a la instalación de medidas de protección medioambiental adecuadas para evitar impactos negativos en el entorno.

2.3. INVESTIGACIÓN EN MÁRGENES E INYECCIÓN CON LECHADA DE CEMENTO.

Las perforaciones de investigación se realizaron en ambas márgenes, con diferentes profundidades, direcciones e inclinaciones. Se ejecutaron con sondas electro-hidráulicas a rotación, de pequeño tamaño y gran potencia, muy versátiles, mediante corona de diamante, con extracción de testigo, en diámetro comercial de 46 mm. Se ejecutaron un total de 20 taladros, con una longitud en conjunto de 182 m.

Al realizarse los taladros a rotación, con recuperación de testigo, se adquirió información continua, muy valiosa de cara a acometer la futura inyección con mayor garantía. La información obtenida de los testigos puede resumirse en :

- Buena calidad, dureza y homogeneidad del hormigón, con árido uniforme en cuanto a naturaleza y tamaño. Ausencia de coqueras.
- Contacto entre hormigón y roca de cimiento en buen estado aunque con débil adherencia entre ambos (ver fig. 4).
- Mala calidad de la roca del cimiento poco después de sobrepasar el contacto, encontrándose bastante fracturada y con indicios de paso de agua, como se puede apreciar en la fig. 5.



Fig. 4: Contacto hormigón- roca



Fig. 5: Testigo obtenido durante la ejecución de los taladros

La perforación a rotación con corona de diamante evitó la formación de esquirlas que taponaran las diaclasas, algo frecuente en perforaciones a rotopercusión, lo que favoreció el buen desarrollo de la posterior inyección.

Previamente a la inyección, y con el fin de elegir el producto más idóneo para este caso en concreto, se realizaron pruebas de agua con fluoresceína en los taladros ejecutados, que arrojaron como resultado la existencia de comunicaciones directas entre los mismos. Pero sobre todo, con esta prueba se llegó a una importante conclusión, que lo que había en las zonas afectadas era un conjunto de discontinuidades en forma de cuña, sin circulación de aguas arriba hasta aguas abajo, ya que días después de realizarse la prueba de fluoresceína, algunos taladros aun teñían el agua con este colorante, algo que no habría sucedido si el agua en esa zona hubiese tenido circulación, porque la fluoresceína habría desaparecido en pocas horas.

Por este motivo, se optó por realizar una inyección de consolidación con cemento en todas las áreas afectadas (ver fig. 6), al no existir en este caso peligro medioambiental por vertidos incontrolados, principal problema de este material, máxime teniendo en cuenta que la inyección iba a realizarse con embalse lleno.

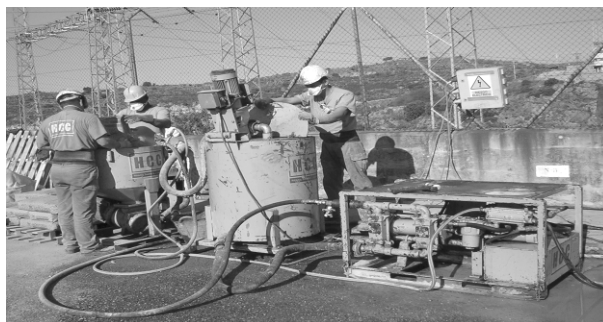


Fig. 6: Inyectadora de cemento emplazada en obra y acopio de cemento

Se empleó cemento CEM II/A-V/ 32,5 adecuado para el trabajo a realizar, con una relación inicial a/c de 1:1, que se fue variando hasta 1:2 en función del progreso de la inyección. Se acordó limitar la presión real de inyección a 5 kg/cm². Teniendo en cuenta que existía una presión de salida de agua por los taladros de unos 4 a 5 kg/cm², la presión de trabajo se situó en un máximo de 9 a 10 kg/cm², según el caso.

El control de la inyección se llevó a cabo por personal altamente cualificado, estando comunicados los diferentes tajos con equipos de genéfonos y emisoras instalados en obra.

En total se inyectaron 17.000 kg de cemento, produciéndose las admisiones y comunicaciones previstas tras la ejecución de las pruebas de agua con fluoresceína (ver fig. 7).



Fig. 7: Detalle comunicación entre taladros

Durante la ejecución de la obra se realizó un control de los caudales y presiones de filtración provenientes de los drenes y taladros de investigación ejecutados. Concretamente, este control se llevó a cabo en tres fases:

- Antes del inicio de la perforación, para constatar el estado previo de las filtraciones.
- Durante los trabajos, para comprobar el impacto de éstos sobre el caudal evacuado por los taladros en la zona de inyección.
- Tras la inyección y reinyección, para valorar la eficacia de los trabajos ejecutados.

A las cotas de embalse más elevadas se produjeron unas reducciones en los caudales aforados cercanas al 100 % respecto a los registrados antes de los trabajos efectuados. Es decir, prácticamente se lograron sellar las discontinuidades de manera completa, eliminando las vías de agua existentes.

2.4. EJECUCIÓN DE NUEVA RED DE DRENAJE.

Tras las inyecciones efectuadas, se procedió a ampliar la red de drenaje de cimiento existente en la presa, tanto en las márgenes como en la zona central.

Se ejecutaron 28 nuevos drenes, con diferentes inclinaciones y con una profundidad variable entre 15 m en las cotas superiores y 30 m en las más bajas (mínimo 1/3 de la cota máxima de embalse en cada perfil).

La perforación se realizó con sondas eléctricas y/o electro-hidráulicas, a rotación mediante corona de diamante, con extracción continua de testigo, en diámetro comercial de 76 mm (ver fig.8).



Fig. 8: Perforación de taladro de Ø 76 mm

De esta forma se obtuvo información continua del taladro (ver fig. 9). En general, ésta puede resumirse en:

- Hormigón de presa de buena calidad, con árido uniforme en cuanto a su naturaleza y tamaño. Ausencia de coqueras.
- Contacto entre el hormigón de la presa y la roca de cimentación en buen estado, aunque con una débil adherencia entre ambos, ya que salía disgregado. No se produce circulación libre de agua por él. Se encuentra a una profundidad muy variable de un punto a otro, entre 1,8 m y 16,30 m, debido probablemente a la ejecución de la excavación con explosivos.
- Aceptable calidad de la roca de cimentación, consistente en pizarras, aunque en algunos de los testigos, la roca salía algo fracturada. Discontinuidades selladas con cemento en las zonas tratadas, con filtraciones muy reducidas.

Finalmente, se colocó en la boca de cada dren un dispositivo de aforo individualizado de PVC, equipado con manómetro de glicerina. Se empleó tubería y accesorios de PVC rígido de presión (10 atm la tubería y 16 atm los accesorios), de color gris (ver fig.9).



Fig. 9: Dispositivos de aforo de PVC en M.D. de la galería perimetral

2.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Con los trabajos descritos se logró alcanzar el primero de los objetivos, que era consolidar la cimentación en ambas márgenes de la presa. Esto ha quedado constatado por la espectacular reducción en el caudal de agua aportado por los drenes de las zonas tratadas, que se ha visto reducido en casi un 100%, y de las subpresiones registradas, lo que indica que se ha logrado un relleno efectivo de las discontinuidades preexistentes.

Por otro lado, se ha ejecutado una nueva red de drenaje tanto en la zona central de la presa como en ambos márgenes. Esto ha permitido solucionar el problema que suponía para el alivio de las subpresiones, el estado deficiente en que se encontraba la red de drenaje en dicha zona central, así como la ausencia de la misma en los márgenes (ver fig. 10). Los nuevos drenes ejecutados en las áreas en las que se realizaron las inyecciones de cemento no hicieron sino confirmar la bondad, eficacia y calidad del tratamiento aplicado para la consolidación del cimientto, dado que el testigo que se obtuvo reveló el sellado de las discontinuidades. Así mismo, los caudales aportados por dichos drenes, resultaron poco significativos al compararlos con los que se registraban anteriormente.

La propiedad realiza un seguimiento de los caudales aportados por los drenes de la presa, por si pudieran ser necesarias actuaciones adicionales.

A modo de recomendaciones para otros trabajos de este tipo, se revela necesaria la existencia de una completa red de piezometría (preferiblemente de cuerda vibrante) independiente de la red de drenaje de la presa y emplazada aguas abajo de la misma. Estos piezómetros permiten llevar a cabo un control efectivo de las subpresiones que puedan afectar a la presa, sirviendo asimismo para controlar la eficacia real de la red de drenaje.

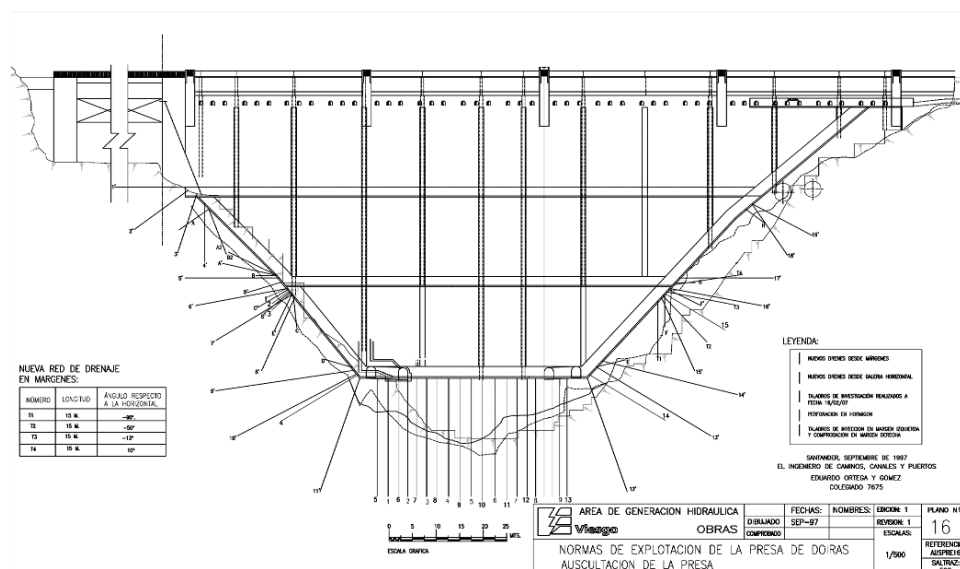


Fig. 10: Alzado de la presa con taladros de investigación e inyección realizados y nueva red de drenaje ejecutada

Cabe señalar como poco habitual el hecho de que se hayan podido realizar inyecciones de consolidación del cimientto con lechada de cemento estando el embalse lleno. En efecto, la ausencia de una circulación franca de agua desde la zona tratada hacia aguas abajo de la presa, revelada por el resultado de las pruebas de agua con fluoresceína, ha permitido sortear el gran inconveniente medioambiental que el empleo de productos cementosos supone en estos casos, y que sólo masillas de resinas epoxídicas, inyectadas a elevadas presiones, puede solucionar.