

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

TRABAJOS DE CORRECCIÓN DE FILTRACIONES E IMPERMEABILIZACIÓN EN LA PRESA DE HORNO TEJERO, (BADAJOZ).

Pablo Garcia Cerezo ¹
Juan José Alfajeme ²
Luis Asensio Ramírez ³
Alvaro Cairón Roldán ⁴
Riccardo I J Oprandi ⁵

RESUMEN: La presa de Horno Tejero cierra el río Lácara, aguas arriba del casco urbano de Cordobilla de Lácara, en las inmediaciones del mismo, circunstancia que fuerza su clasificación en categoría A, según Resolución de 29/07/98.

Se trata de una presa de materiales sueltos, de 37m de altura sobre cimientos y 300m de longitud, con núcleo grueso de arcilla vertical. Los espaldones están formados por un todo-uno, con un dispositivo de filtro y drenaje dispuesto de forma paralela al talud de aguas abajo del núcleo, con 2,5 m de anchura y con su cara superior 4m por debajo del labio del aliviadero.

En el 2004, se detectaron filtraciones en el talud de aguas abajo, en una cota superior a la correspondiente al sistema de drenaje dispuesto. Vistos los materiales

¹ Ingeniero de Caminos, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE.

² Ing. Técnico de Obras Públicas, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE.

³ Ingeniero de Caminos, GEOTECNIA Y CIMENTOS S.A.

⁴ Ing. Técnico de Obras Públicas, GEOTECNIA Y CIMENTOS S.A.

⁵ MEng Civil Engineering (UK), GEOTECNIA Y CIMENTOS S.A.

empleados en la construcción del núcleo y ante la perspectiva de que pudieran estar produciéndose arrastres de finos que acabaran colmatando el sistema de drenaje, con riesgo posterior de saturación del espaldón de aguas abajo, se planteó la ejecución de una pantalla vertical de bentonita-cemento, en el interior del núcleo.

En el artículo se plantea el problema surgido, así como la solución adoptada, el proceso de ejecución de dicha solución y los resultados finalmente obtenidos

1. ANTECEDENTES

La Presa de Horno Tejero se sitúa en la cabecera del Río Lácara, justo aguas arriba de la localidad de Cordobilla de Lácara (Badajoz).

Construida a finales de los años 80, se trata de una presa de materiales sueltos de 37m de altura sobre cimientos y 300 m de longitud de coronación, la cual se sitúa a la cota +328m. Tiene un núcleo grueso de arcilla vertical, y espaldones formados por un todo-uno, con un dispositivo de filtro y drenaje dispuesto de forma paralela al talud de aguas abajo del núcleo, con 2,5 m de anchura y con su cara superior a la cota +320m; situándose las cotas de coronación en la +328m; la del labio del aliviadero en la +324m y la del cauce en la +291m.

Tiene dos galerías, una perimetral y otra longitudinal, alojando esta última los tubos de desagüe de fondo. El volumen de embalse que crea es de 24Hm³.

Su funcionamiento ha sido satisfactorio hasta el año 95/96. Debido a unas intensas lluvias tras una serie de años de sequía, se detectaron algunas humedades en las galerías de la presa y en el paramento de aguas abajo.

Las filtraciones aparecidas en las galerías fueron tratadas en el año 2000 por la Confederación Hidrográfica del Guadiana, mientras que la del paramento a la altura de la berma superior se canalizó para su aforo y estudio.

Durante los meses de Junio y Julio de 2004 se realizaron dos visitas a la presa por parte de Técnicos de Inspección de Presas del Área de Geotecnología. Aunque solo durante la segunda visita realizada pudo observarse la humedad con claridad, se procedió a realizar un estudio geofísico con el fin de determinar el estado de saturación de la presa y el núcleo.

El hecho de que se detectaran las filtraciones en el tramo superior de la presa, donde no existe filtro en el espaldón de aguas abajo, hacia temer que podrían existir otras filtraciones o zonas especialmente saturadas en puntos a menor cota donde el filtro hace que no sean apreciables a simple vista.

Vistos los materiales empleados en la construcción del núcleo y ante la perspectiva de que pudieran estar produciéndose arrastres de finos que acabaran colmatando el sistema de drenaje, con riesgo posterior de saturación del espaldón de aguas abajo, se planteó la ejecución de una pantalla vertical de bentonita-cemento, en el interior del núcleo.

2. PROBLEMÁTICA EXISTENTE

Como conclusión del informe de Inspección de Presas, puede resumirse la problemática existente de la siguiente manera:

- La presa está clasificada como CATEGORÍA A (clasificación en función del riesgo potencial del vigente Reglamento Técnico de Seguridad de Presas y Embalses) debido a la presencia de un núcleo de población al pie de la presa, lo que condiciona cualquier actuación obligando a incrementar en lo posible las garantías de seguridad.
- El material con el que se ha ejecutado el núcleo podría presentar una excesiva permeabilidad, mientras que el espaldón de aguas abajo sería, en cambio, excesivamente impermeable.
- Asientos muy importantes medidos en coronación desde la puesta en servicio de la presa, pudiendo haber alteraciones en el interior del núcleo.
- Amplias zonas de saturación en el interior del núcleo.
- Arrastre de finos, a consecuencia de las filtraciones existentes, que podrían estar colmatando el sistema de filtros.

3. OBJETO Y SOLUCIÓN DEL PROYECTO

El objeto del proyecto es la corrección de las filtraciones existentes en la presa, con la consiguiente mejora de las condiciones de seguridad.

Para ello, se proyectó, como solución definitiva ante los problemas de filtraciones, ejecutar una pantalla plástica de cemento-bentonita desde coronación de la presa, mediante paneles alternos de 800mm de espesor. Las pantallas alcanzan el cimientado de la presa y penetran en la misma, hasta alcanzar roca sana. La profundidad máxima alcanzada es 38m, y la longitud, 283m.

Como operaciones previas a la ejecución de la pantalla se considera el corte del tráfico en el vial de coronación y el desmontaje y demolición de los elementos existentes para la ejecución de los muretes guía.

Como operaciones complementarias, se contempla la ejecución de inyecciones de impermeabilización de la galería de desagüe de fondo. Las inyecciones se hacen para impermeabilizar el área no accesible con la pantalla de bentonita-cemento, en la intersección de esta con la galería, cuyo eje es perpendicular al plano de la pantalla. La mezcla inyectada es lechada de cemento con algo de bentonita, y las inyecciones se hacen a presión, a través de tubos manguitos.

Además de todo lo expuesto, el proyecto considera la regularización del vial de coronación e integración paisajística, mediante la ampliación del acerado demolido hasta un ancho de tres metros (acerado aguas arriba), para permitir el paseo peatonal, así como la reposición de elementos tales como biondas, alumbrado público,...etc.

4. LA PANTALLA PLÁSTICA DE CEMENTO-BENONITA

4.1 OPERACIONES PREVIAS

Como operaciones previas a la ejecución de la pantalla se ha procedido a los siguientes trabajos: corte y señalización del vial de coronación; desmontaje de bion-

das; desconexión de prisma de telecomunicaciones; corte y demolición de vial para ejecución de muretes guía; relleno del vial de coronación con zahorra para ejecución de plataforma de trabajo y protección del vial; vallado del murete guía como protección frente a caídas a distinto nivel; e instalación de planta de fabricación de la mezcla.

4.2 DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA PARA LA PANTALLA PLÁSTICA

La resistencia (RCS) y permeabilidad (k) de las pantallas de bentonita-cemento dependen de la dosificación y el tipo de cemento empleado. Se emplea bentonita en la mezcla como para que el lodo sea estable, evitando que el cemento decante antes del fraguado.

Dosificaciones típicas para pantallas bentonita-cemento, por 1000 litros de mezcla final, son:

- Agua: 700 a 950 litros
- Bentonita: 20 a 80 Kg
- Cemento: 100 a 400 kg
- Aditivos: 0 a 5 kg

Tanto la resistencia como la permeabilidad dependen de la relación agua/cemento y del tipo de cemento empleado, existiendo una relación directa entre la resistencia y la permeabilidad.

El tipo de cemento empleado es importante, ya que para la misma cantidad de cemento se consigue casi cuatro veces más resistencia con un cemento CEM-III que con un CEM-I. La relación de permeabilidades puede ser de hasta cien veces superior de utilizar un cemento u otro. La durabilidad de la pantalla también depende del cemento empleado, siendo recomendable el empleo de cemento CEM-III-B o C para pantallas permanentes. En todo caso, los cementos deben cumplir los requisitos de durabilidad establecidos en la normativa vigente para el cemento, la RC03 Instrucción para Recepción de Cementos.

Cabe destacar que la permeabilidad de las muestras fabricadas en laboratorio suele ser de un orden de magnitud superior a la permeabilidad del lodo conseguida in-situ. También las resistencias de las muestras de laboratorio son habitualmente más altas que las conseguidas in-situ.

La función de la bentonita es dar estabilidad a la mezcla, minimizando la decantación, es decir, aumentando la capacidad de retención de agua del lodo. Durante el proceso de fraguado de la mezcla cemento-bentonita siempre se produce una decantación de partículas sólidas al fondo de la excavación, que será mayor cuanto menor sea la capacidad de retención de agua del lodo. La bentonita minimiza este efecto, que se puede medir con el filtro prensa. Un lodo cemento bentonita es estable cuando el filtrado, medido en filtro prensa a los 7,5 minutos, no sobrepasa los 100 ml. Este factor es el que definirá el contenido mínimo de bentonita que deberá tener el lodo.

Si, para el estudio de la dosificación de bentonita, se hacen ensayos de filtro prensa en laboratorio, es importante que el agua que se utiliza es la misma que se

empleará en obra, por que si se utiliza agua de distintas características, es posible que varíe la cantidad de bentonita necesaria para conseguir el filtrado de 100 ml. Además, existe en el mercado una gama muy amplia de calidades de bentonita por lo que, en función de la que se utilice y de las características del agua de amasado, variará la cantidad necesaria. Con todo ello, normalmente se establece la dosificación de la bentonita en obra. Las cantidades suelen variar entre 30 y 80 kg por 1000 litros de agua.

Se pueden utilizar aditivos para variar el tiempo de fraguado, la viscosidad para facilitar el bombeo (fluidificantes), etc.

Otras características de la mezcla, como su deformabilidad vienen implícitas por la estructura del lodo fraguado, que se puede comprobar durante los ensayos de rotura a compresión simple, donde se produce una deformación importante antes de la rotura.

La dosificación empleada en la obra fue definida junto a la Dirección de Obra en base a ensayos previos de laboratorio. La dosificación empleada es la siguiente:

- Agua: 1000 litros
- Bentonita (C-2): 55 Kg
- Cemento (CEM III-B 42,5): 220 Kg

Obteniendo para esta mezcla, una resistencia a compresión simple de entre 6 y 7 Kg/cm² y una permeabilidad de 1×10^{-9} m/seg.

4.2 EJECUCIÓN DE LA PANTALLA PLÁSTICA

Las instalaciones de fabricación de la mezcla han consistido en una planta especial capaz de dosificar por peso los tres componentes, agua, bentonita y cemento. Transcurrido el tiempo establecido de mezclado en la planta se manda directamente a la excavación.

Con este sistema de fabricación, sin maduración de la bentonita, es necesario utilizar algo más de bentonita que con el sistema tradicional, cuando se fabrica previamente el lodo de bentonita, dejándolo hidratar durante 12 a 24 horas. Pero, se evita montar una planta de gran volumen, con depósitos de almacenaje de bentonita en maduración.

En la excavación de la pantalla, se han empleado una grúa de celosía LIEBHERR HD-855, y cuchara bivalva de cables STEIN K-610 de 16t de peso. El empleo de una cuchara pesada, adecuada para excavación en terrenos duros, fue indicado por la necesidad de empotrar lo máximo posible en la roca subyacente a la presa, pero sin emplear el trépano rompedor. El uso del trépano fue prescrito por las vibraciones que produce.

La pantalla se ha excavado, por paneles alternos (primarios y secundarios) solapados entre sí 0,25 m, manteniéndose estables las paredes de la excavación mediante uso del lodo de bentonita-cemento, que una vez fraguado es lo que constituye la pantalla de impermeabilización.



Foto: Instalación de fabricación de lodos y equipo de excavación.

El rendimiento medio obtenido ha sido de 115 m²/día.

Durante la ejecución se ha controlado todos los parámetros de la mezcla para asegurar su idoneidad (ph, densidad, viscosidad y filtrado). Además se fabricaron probetas para comprobar la resistencia a compresión simple y permeabilidad conseguidos in situ. Las características medias del lodo se resumen en:

- Ph: 9 – 10
- Densidad: 1,17 kg/cm³
- Viscosidad: 40 – 44 seg.
- Filtrado: 94 – 104 cm³
- Resistencia a compresión simple: 5 – 7 kg/cm² a 28 días
- Permeabilidad: 1x10⁻⁸ m/seg.

Debido a la naturaleza del cemento-bentonita, las muestras que se tomaron para determinar la resistencia y la permeabilidad en laboratorio, se curaron en condi-

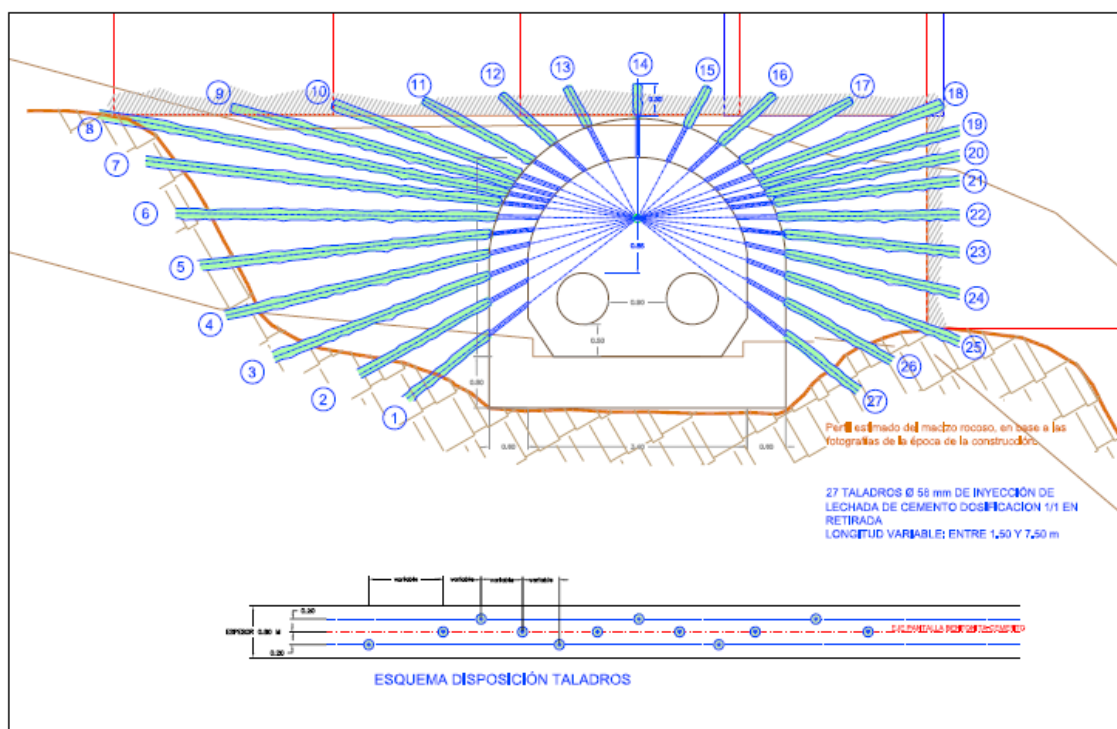
ciones optimas, durante alrededor de una semana, antes de transportarlas a laboratorio, para evitar su alteración.

5. LAS INYECCIONES DE SELLADO DEL CONTACTO PANTALLA-GALERÍA DE DESAGÜE DE FONDO

Se ha ejecutado un único abanico de inyecciones con tubos manguitos, con un total de 27 taladros de 56 mm de diámetro, para impermeabilizar el área alrededor de la galería. Además, se completa el abanico con taladros en la solera de la galería para la comprobación de su estado.

El tubo manguito consiste en un tubo provisto de válvulas anti-retorno de inyección, separadas cada 50 a 100cm, a través de las cuales se realiza la inyección a presión. Las válvulas anti-retorno se conforman por aberturas en el tubo cubiertas por manguitos de goma que los presionan firmemente y que ceden únicamente bajo presión, y vuelven luego a su posición inicial.

Los taladros se han perforado según se puede observar en detalle adjunto:



La longitud de estos taladros varía según el ángulo de perforación sobre la horizontal, oscilando entre 1,50 m y 8,50 m. La distancia máxima entre taladros consecutivos es del orden de 50 cm en la zona de sellado con la pantalla existente o en el contacto con el macizo rocoso. No ha sido necesario obturar en boca durante la perforación.

En cuanto a la mezcla inyectada, se ha empleado una dosificación agua/cemento/bentonita de 1/1/0,035 (1.000 kg de cemento y 35 kg de bentonita

por cada 1.000 litros de agua). La mezcla se ha inyectado con obturación en boca del taladro a una presión de 5 a 7 kg/cm².

Las admisiones obtenidas durante la inyección han oscilado entre 30 y 50 litros por metro de taladro, a una presión de 5 kg/cm². En un 25% de los taladros, fue necesario repetir taladros por aparición de goteos debido a la lentitud del fraguado de la mezcla. En estos taladros repetidos, se aumentó la dosificación del cemento y se eliminó la bentonita en la mezcla (lechada a/c:1/2). Además, se incrementó la presión de inyección hasta los 7 kg/cm², aumentándose también las admisiones.

Cabe destacar la ejecución de dos taladros adicionales en posición horizontal a cada lado de la galería, con objeto de aumentar la compacidad de la zona tratada. En el taladro del margen derecho se obtuvo una admisión acorde a las anteriores inyecciones, pero en el taladro del margen izquierdo, se detectó una zona descomprimida, posiblemente una vía preferente de paso de agua. En las inyecciones de este taladro, que se han realizado en tres fases, se producen grandes admisiones a una presión de 7-8 kg/cm², con un total de 15m³ litros de lechada.



Foto: Perforación de taladros en abanico para sellado del contacto pantalla galería de desagüe de fondo.

El rendimiento en la ejecución de todos estos taladros ha sido bastante bajo debido a la falta de espacio en la galería, de sección reducida, y a la ocupación de parte de esta sección por dos tuberías de desagüe de fondo. Esa falta de espacio y necesidad de emplear maquinaria eléctrica impuso una restricción en el uso de maquinaria, quedando como opción casi única el empleo de una Diamec 232. El espesor de hormigón en la sección de la galería, a excepción de la parte superior, es del orden de 1 a 2 metros y fuertemente armado, hecho que retrasó los trabajos, causando la rotura de la cabeza de rotación en varias ocasiones.

6. LOS SONDEOS DE COMPROBACIÓN

Se han realizado 7 sondeos en la pantalla plástica, con finalidad de conocer el estado de la pantalla en toda su profundidad una vez fraguada la mezcla, y reconocer el estado de la roca inferior a la pantalla.

Todos los sondeos se realizaron 100 mm de diámetro de perforación, hasta perforar 1m en roca sana, con recuperación del testigo para comprobar la continuidad de la pantalla plástica.

Asimismo, en cada sondeo se han realizado un ensayo de permeabilidad tipo Le-franc, bajo carga variable, a 2m del pie de la pantalla y otro en la roca sana. Los datos obtenidos en los ensayos "in situ" verificaron los ensayos de permeabilidad de la mezcla en laboratorio, del orden de $k = 1 \times 10^{-8}$ m/seg. La permeabilidad de la roca sana era de $k = 1$ a 2×10^{-7} m/s.

En uno de los sondeos, se realizaron ensayos de permeabilidad a diferentes profundidades, para verificar que la permeabilidad de la pantalla fuera uniforme en toda la altura de la pantalla.



Foto: Testigo de sondeo en pantalla plástica.

7. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En la Presa de Horno Tejero, se ha construido una pantalla plástica de bentonita-cemento para eliminar las filtraciones que se habían detectado en el tramo superior de la presa, donde no existe filtro en el espaldón de aguas abajo en el tramo superior. La dosificación del lodo empleado ha sido:

- Agua: 1000 litros
- Bentonita (C-2): 55 Kg
- Cemento (CEM III-B 42,5): 220 Kg

Consiguiendo con esta dosificación una pantalla plástica con resistencia a compresión simple un lodo de resistencia 5 a 7 Kg/cm² y permeabilidad del orden de 1×10^{-8} m/seg. Asimismo, se han realizado inyecciones con tubos manguitos para impermeabilizar el área alrededor de una galería de desagüe con eje transversal a la pantalla.

Con estas actuaciones, se han eliminado las filtraciones y se han reducido las presiones intersticiales medidas en los piezómetros colocados aguas abajo a la pantalla.