

Presas de la Loteta. Un emplazamiento estratégico

R. Lafuente

Civil Engineer. Confederación Hidrográfica del Ebro

J. Granell

Civil Engineer. Empresa Consultora JESÚS GRANELL Ingenieros Consultores, S.A.

I. Poyales

Civil Engineer. FCC CONSTRUCCION, S.A

V. Flórez

Civil Engineer. FCC CONSTRUCCION, S.A

ABSTRACT: La presa de la Loteta se encuentra situada en la provincia de Zaragoza, a 44 km de la capital en dirección NW. Aunque inicialmente su principal objetivo era la regulación del Canal Imperial de Aragón, se ha convertido, además, en una pieza clave para el abastecimiento con agua de calidad a Zaragoza, y regulará en su vaso el agua proveniente de la presa de Yesa. Este embalse es seguramente el primero que se construye sobre yesos y otras sales en proporciones apreciables, en España. Sin embargo, su construcción queda justificada por sus excepcionales condiciones topográficas, su mínima afección al entorno y su proximidad tanto al Canal Imperial como a la ciudad de Zaragoza, consiguiéndose con una presa de altura moderada (≈ 34 m) un gran embalse de más de 100 Hm^3 . La presa es de materiales sueltos, heterogénea, con un núcleo central arcilloso ancho y espaldones de material procedente de las terrazas del Ebro. El núcleo se prolonga bajo el espaldón de aguas arriba en un grueso tapiz cuyo extremo enlaza con una pantalla plástica de bentonita-cemento. Se describen en la comunicación las características del entorno, las propiedades estratégicas del emplazamiento y las soluciones técnicas adoptadas para su realización.

1. INTRODUCCION

Las presas constituyen grandes obras de ingeniería con una repercusión económica, social y ambiental muy importante. El balance de impactos positivos y negativos determina, en parte, la viabilidad, efectividad e idoneidad de la obra.

La presa de la Loteta es un claro ejemplo en el que la ingeniería y la técnica se ponen al servicio del valor estratégico de la obra, de su necesidad y de su emplazamiento. Una necesidad concretada, en este caso, en una doble función: servir como depósito regulador del Canal Imperial de Aragón y contribuir al abastecimiento de la ciudad de Zaragoza.

La construcción de esta presa se justifica por sus excepcionales condiciones topográficas que permiten construir un gran embalse de más de 100 hm^3

con una presa de apenas 34 m de altura ocupando una superficie de 11 km^2 de una cuenca endorreica. Además, su ubicación junto al Canal Imperial de Aragón que alimenta a la presa, y la poca distancia a Zaragoza, capital abastecida desde el embalse, refuerzan la justificación de este emplazamiento.

El reto técnico ha consistido en solventar los condicionantes del terreno para la ejecución de la presa. Condicionantes del cimientó con presencia de yesos y otras sales solubles, y condicionantes de los materiales a emplear en el cuerpo de presa.

Es, seguramente, la primera presa de gran importancia que se construye sobre yesos y otras sales en proporciones apreciables en España.

En la presente ponencia se muestra la situación de la presa, su cuenca, el entorno geotécnico, en

particular en el plano del eje de la presa, así como los diferentes elementos y soluciones que se han empleado en la ejecución de la misma, tratando de solventar cada uno de los desafíos del terreno.

2. EL ENTORNO. SITUACIÓN

La presa se encuentra situada en la provincia de Zaragoza, al NW de la capital y a una distancia de 44 km de ella. El embalse ocupa parte de los municipios de Boquiñeni, Luceni, Pedrosa, Gallur y Magallón.

La cuenca, endorreica, está drenada por el arroyo de Carrizal y ocupa una superficie total de apenas 30 km² de los cuales 11 km² corresponden a la superficie de inundación del embalse.

La morfología del vaso es de fondo plano, pendientes suaves y escasa pendiente. Esto permite que un cierre de poca altura pueda almacenar un volumen muy importante.

La aportación al embalse se realiza directamente desde una toma en el Canal Imperial de Aragón, situado a poca distancia de la cerrada, mediante un bombeo. El arroyo de Carrizal tiene una aportación muy escasa.

La magnitud del embalse permite regular tanto los caudales propios del Canal Imperial como el agua procedente del embalse de Yesa, contribuyendo con ello al abastecimiento de la ciudad de Zaragoza.

La capacidad del embalse permite laminar totalmente las avenidas del Arroyo Carrizal ya que, por ejemplo, la avenida máxima para 1.000 años de período de retorno es de 1,42 hm³ y el embalse conseguido supera los 104 hm³.

3. EL ENTORNO. GEOLOGÍA

El embalse de La Loteta se encuentra en el relleno terciario de la Depresión del Ebro. Su formación corresponde a un episodio evaporítico continental de edad miocena.

Litológicamente y estratigráficamente la cimentación de la presa y sus obras anexas se encuentran en una alternancia de dos series subhorizontales.

- Margas grises con abundantes yesos de primera formación y yesos de segunda formación que rellenan las grietas y huecos
- Arcillas marrones y pardo-rojizas con escasa presencia de yesos

Además, existen procesos de carstificación por disolución en los yesos y subsidencias, dolinas antiguas y de nueva formación. En el estribo derecho se destacan estratos de yesos alabastrinos muy duros.

En las zonas de subsidencia, el comportamiento de las distintas capas viene determinado por sus propias características, de forma que mientras las margas y arcillas más plásticas, se amoldan a la nueva superficie, las zonas de alabastrinos, más rígidas, se fracturan.

A mayores profundidades existe una formación de halita (sal gema) detectada en un sondeo a 70 m de profundidad bajo la presa y otro a 90 m perforando el vaso.

El terreno, en general, es impermeable, y su resistencia a compresión simple (q_u) es alta, superando en zonas yesíferas los 25 N/mm². Sin embargo, se localizan zonas descomprimidas en las margas que se encuentran cerca de zonas de disolución, debido a que se elimina parte de la capa de yesos del nivel superior en la estructura de capas alternadas. Esta descompresión provoca un aumento de volumen y un incremento de la porosidad.

Esta complejidad del terreno ha sido conocida en detalle mediante una exhaustiva investigación geológico-geotécnica que ha permitido confeccionar un mapa estratigráfico muy preciso.

Se han empleado prácticamente todas las herramientas disponibles sobre Ingeniería del Terreno: cartografía estratigráfica, tectónica estructural, ensayos geofísicos, radiación gamma, conductividad,

sísmica de refracción, tomografía eléctrica, diagráfias, ensayos de permeabilidad, de resistencia. Se ha completado con estudios hidrogeológicos, hidroquímicos e hidrodinámicos. (1)

Pero, sobre todo, la observación directa del macizo excavado ha permitido comprender mejor el proceso de disolución de los yesos. En la excavación general estaba previsto retirar la tierra vegetal y los depósitos cuaternarios, así como los primeros niveles para el apoyo de la presa, sin embargo, la aparición de una dolina de bastante extensión en el estribo izquierdo obligó a bajar la cota de cimentación aproximadamente 5 m para sanear no solamente la subsidencia sino también todo el contorno de la misma. En la zona central se eliminaron depósitos cuaternarios blandos y se detectaron dolinas ocultas, una de las cuales colapsó al retirar la capa de montera superior. Las excavaciones se rebajaron lo suficiente para eliminar la zona más activa.

4. JUSTIFICACION DEL DISEÑO DE LA PRESA

El diseño de la presa se ha orientado, por tanto, a evitar la circulación de agua a través del terreno, reduciendo el gradiente hidráulico impidiendo así la disolución de las sales que contiene. La solución adoptada consiste en una sección tipo de presa de materiales sueltos, complementada con un tapiz impermeable y una pantalla continua.

El conjunto núcleo, tapiz y pantalla, consigue reducir el gradiente hidráulico a valores tan bajos como el 0,2%. Además, se justifica la ausencia de galería perimetral y la supresión de cualquier tipo de drenaje profundo bajo el pie de aguas abajo del núcleo con el fin de no aumentar el gradiente hidráulico.

La presa tiene una longitud de 1.472 m y una altura sobre cimientos de 34 m. Con unos taludes exteriores de (2,50H:1V) el volumen necesario para ejecutar la obra supera los 3 millones de m³ por lo que se hace imprescindible el estudio de los materiales del entorno para su utilización en la construcción de la presa. De esta forma, el diseño de la sección tipo corresponde a una presa de materiales

suelos heterogénea con núcleo central arcilloso grueso (anchura de 1,20 veces la altura) y espaldones de material procedente de las terrazas del río Ebro cercanas a la obra.

Aguas abajo del núcleo existe una zona de transición formada por un filtro fino y uno grueso, con un espesor de 2,50 m cada uno. Estos se extienden, con espesores más reducidos, bajo la base del espaldón de aguas abajo.

El núcleo se prolonga por debajo del espaldón de aguas arriba en un tapiz de gran extensión que llega a los 150 m en la zona central desde el eje de la presa. Su espesor es de 6 m y está cubierto por un manto de gravas de 4 m de espesor.

El extremo del tapiz enlaza con una pantalla o muro continuo de material plástico de bentonita, cemento y cenizas volantes. La pantalla tiene un espesor de 0,80 m, una profundidad máxima que supera los 30 m con un valor medio de 23 m, empotrándose en los niveles de arcillas margosas sin yesos. La longitud de la pantalla es de unos 1580 m y la superficie impermeable es de más de 35.000 m². Se trata de una pantalla singular, ejecutada con hidrofresa empleando lodos de trabajo. (2)

4.1. Material arcilloso del núcleo y tapiz

Para el material arcilloso del núcleo y del tapiz se utilizaron las margas estratificadas subhorizontales de una zona de la ladera izquierda, dentro del vaso y próxima a la obra, cuyo contenido en sulfatos era admisible. Su explotación se realizaba por estratos horizontales, más homogéneos entre sí. Los estratos cuyo contenido en sulfatos superaba el 0,5 % se retiraban completamente.

La cantidad de carbonatos era muy baja (9 a 10%), así como los cloruros ($\approx 0,15\%$) siendo el material no dispersivo.

Una de las mayores preocupaciones durante la construcción fue poder fijar un criterio de control para la aceptación de tongadas de este material, por lo que se establecieron unas referencias al Proctor obtenido en la cantera, en los acopios y en el ta-

jo —este último de forma indirecta en función de la plasticidad—, un Proctor final estimado y en caso de no coincidencia se calculaba un Proctor de referencia.

El procedimiento seguido era el siguiente:

1. Se dividía la cantera en zonas amplias para favorecer la explotación.
2. El primer índice de similitud se obtenía determinando la humedad natural y la plasticidad.
3. Se caracterizaba el material de cada zona mediante la determinación de los límites de Atterberg, la humedad natural y el Proctor normal. Éste era el denominado Proctor de Cantera.
4. El material se extraía, se roturaba y se humectaba hasta un valor próximo al óptimo y se acopiaba en montones donde permanecía unos 10 días. Se determinaba un nuevo Proctor normal, denominado Proctor de Acopio.
5. El material se llevaba al tajo y se compactaba en capas de 25 cm. Se obtenía la plasticidad y se determinaba, de forma indirecta el Proctor Estimado.

Si los resultados obtenidos en los distintos ensayos Proctor eran diferentes se calculaba el Proctor de Referencia como media ponderada de los anteriores.

Para ser aceptada la compactación, los resultados obtenidos vistos en un diagrama densidad-humedad, debían quedar en el interior de un recinto formado por las curvas de saturación del 80% y del 95% y limitado por las rectas de humedad óptima más 1% (wop+1%) o menos el 2% (wop-2%).

Se limitaba el grado de saturación entre el 80% y el 95% porque para valores inferiores al 80% el relleno podría ser deformable, y, por otro lado, un grado de saturación muy alto podría provocar presiones intersticiales elevadas.

4.2. Material de filtros y drenes

Para la fabricación de los filtros y drenes se empleó material procedente de las terrazas del río Ebro, próximas a la obra. Estas arenas naturales son muy finas, con poco porcentaje entre 0,5 y 5,0 mm, por lo que se tomó la decisión de emplear dos capas de filtro, uno fino y otro grueso que permitiera la evacuación de las posibles filtraciones.

En la propia obra se instaló una planta para la fabricación de estos filtros que suponían unos 200.000 m³ de material.

El material de salida de planta con tres cortes fabricaba el filtro fino con los tamaños de 0 a 1 mm y de 1 a 5 mm, en un 50% cada uno, mientras que en los drenes se empleaba un 50% de tamaños de 5 a 12 mm, 45% de tamaños entre 1 y 5 mm y un 5% de tamaños de 1 a 5 mm.

Aguas arriba del núcleo se colocó una zona de transición, adosada a él. El material correspondiente se obtenía por cribado de los acarreos de las terrazas con objeto de eliminar los elementos gruesos (> 5 cm) y evitar la formación de “nidos de grava”, por segregación del material.

4.3. Protección exterior

En su cara de aguas arriba, el espaldón va protegido con un material denominado “mallacán”, procedente de las terrazas que consiste en una especie de conglomerado muy cementado que forma grandes bloques y que se ha dispuesto a modo de “rip-rap” sobre el talud.

Aguas abajo se ha realizado un tratamiento al talud mediante siembra de una cubierta vegetal a base de gramíneas que le dan un aspecto de talud natural, muy integrado en el medio natural.

5. CONJUNTO TAPIZ Y PANTALLA

El cimiento de la presa de La Loteta debe tener una permeabilidad muy baja ya que, tal como se ha recalado, acumulará agua de gran valor tanto económico como social, y por otra parte, la filtra-

ción a su través podría provocar la degradación del cimiento por disolución de sus sales.

Contribuyen a reducir esta permeabilidad de forma especial el tapiz impermeable y la pantalla. Es importante que el comportamiento del tapiz sea correcto, una deficiencia del mismo no podría ser corregida por la pantalla, por este motivo se ha dimensionado con un espesor generoso y confinado por la capa superior de gravas.

Igualmente, la pantalla se convierte en un elemento que ha de impedir que a través de la formación margosa, prácticamente impermeable, progresen las pequeñas vías de agua que se abren para evacuar las filtraciones naturales creando formaciones cársticas.

Esta pantalla, por sus dimensiones, composición de la mezcla, tratamiento de lodos y sistema de excavación con hidrofresa, resulta ser la de mayores dimensiones y singularidades construida en España.

La pantalla plástica es de tres componentes con la siguiente dosificación:

- Bentonita 50 kg/m³ de mezcla
- Cemento 225 kg/m³ de mezcla
- Cenizas volantes 100 kg/m³ de mezcla

Se exigió que la mezcla tuviera una resistencia a compresión simple entre 0,4 y 0,6 N/mm² para garantizar su durabilidad frente a la erosión por efecto del gradiente hidráulico, y que la permeabilidad fuera menor de 10⁻⁶ cm/s.

En cada uno de los perfiles transversales de la presa se realizaron sondeos por el eje de la pantalla y a través de ellos se hizo una meticulosa investigación para comprobar en cada punto el estado de la misma. Esta investigación permitió ajustar la profundidad más conveniente de la pantalla.

Dadas las dimensiones de la pantalla, con 35.000 m², se colocaron dos plantas independientes para la fabricación de las mezclas y el proceso de los lodos.

Se emplearon en la ejecución dos tipos de lodos (agua + bentonita):

- Bentonita de trabajo. Sirve para el sostenimiento de las paredes excavadas y permite la evacuación del detritus mediante una bomba situada entre las ruedas de corte de la hidrofresa. Esta bentonita se lleva a los desarenadores y decantadores para su reciclado.
- Bentonita limpia. Terminada la excavación, se sustituye el lodo de trabajo con sus detritus por una bentonita limpia que ayudada por la hidrofresa completa la limpieza del módulo. Será finalmente expulsada por la mezcla definitiva con mayor densidad.

También se considera crítico el funcionamiento de la unión pantalla-tapiz que ha de permitir un correcto empotramiento de la cabeza de la pantalla en el tapiz impermeable.

Para su ejecución se retiran los muretes-guía contruidos para el trabajo de la hidrofresa; se recorta la cabeza de los muretes en una altura aproximada de 1,50 m y se excava el terreno en una anchura suficiente para que el material de relleno, idéntico al del tapiz, pueda ser compactado por medios mecánicos.

6. TRATAMIENTO DEL TERRENO

Además de estos elementos, tapiz y pantalla, que se integran en la propia sección tipo de la presa, se ha realizado un tratamiento de impermeabilización con inyecciones clásicas.

Con estas inyecciones se ha querido reforzar la permeabilidad del terreno en las zonas en las que se había detectado carstificación.

La pantalla de inyecciones se ha situado en el pie de aguas arriba del núcleo, una primera fila siguiendo esta alineación y una segunda a 3,50 m con taldros alternos situados cada 7 m.

El control de presiones y admisiones se ha realizado siguiendo un criterio similar al método GIN.

Las inyecciones se han extendido en dos zonas, prácticamente coincidentes con los estribos y de una longitud de 300 y 375 m.

7. CONTROL Y AUSCULTACION

Un plan de auscultación exhaustivo y con sistema de toma de datos centralizado permite el control, entre otros parámetros, de presiones y deformaciones durante la construcción, el llenado y la explotación de la obra, comprobando la efectividad de los elementos y sistemas ejecutados.

Destacan entre otros los siguientes dispositivos de instrumentación:

- Células hidráulicas de asiento
- Células de presión total
- Extensómetros de gran base
- Extensómetros de varilla
- Piezómetros
- Estación meteorológica

8. CONCLUSIONES

La localización estratégica de este embalse de gran capacidad con una mínima repercusión medioambiental y un gran interés social y económico para el desarrollo de la zona, ha convertido a esta obra en un embalse estratégico en el que se han empleado todos los medios y conocimientos técnicos actuales sobre Ingeniería Hidráulica y del Terreno para hacer posible y viable este gran proyecto.

REFERENCIAS

- R. Lafuente et al. En Jornadas de Presas. Zaragoza.2002 *Reconocimiento Geológico-Geotécnico de la cimentación de la presa de La Loteta*
- R. Lafuente et al. En Jornadas de Presas. Zaragoza.2002. *La presa de la Loteta (Gallur, Zaragoza)*
- R. Lafuente et al. En Jornadas de Presas. Zaragoza.2002. *Los principales materiales de construcción de la presa de La Loteta (Zaragoza)*
- R. Lafuente et al. En Jornadas de Presas. Zaragoza.2002. *Pantalla de impermeabilización de la presa de La Loteta (Zaragoza)*
- Terra-Bauer. Informe solicitado por Loteta UTE. 2001. *Pantalla plástica impermeable de tres componentes (Bentonita-cemento-cenizas) ejecutada con hidrofresa.*