

La presa de Campos del Paraíso. Cabecera de la red de abastecimiento de la llanura manchega

Campos del Paraíso Dam.

Origin of the Llanura Manchega water supply distribution system

Revista de Obras Públicas
nº 3.536. Año 159
Octubre 2012
ISSN: 0034-8619
ISSN electrónico: 1695-4408

Federico López Zafra. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Director de las Obras. Confederación Hidrográfica del Guadiana. Ciudad Real (España). flopez@chguadiana.es

Isabel Granados García. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Profesora Asociada. Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Madrid (España). igranados@inproes.net

Francisco J. Martín Carrasco. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Profesor Titular. Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Madrid (España). f.martin@upm.es

Alfredo Granados García. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Profesor Ayudante. Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Madrid (España). a.granados@upm.es

Resumen: La presa de Campos del Paraíso (Cuenca), recientemente construida, es el órgano de regulación y distribución de los recursos suministrados por el Acueducto Tajo-Segura para abastecimiento de la Llanura Manchega. De ella parte una importante red de conducciones de más de 1.000 km de longitud, con la que se abastecerá a más de 100 núcleos urbanos, con una población global de unos 800.000 habitantes. Tiene este embalse encomendadas dos misiones importantes, una cotidiana consistente en regular los volúmenes de agua que ha de servir a la Llanura Manchega y otra de seguridad como receptor en emergencia del vaciado del Acueducto Tajo-Segura. El emplazamiento tiene la singularidad geológica de la existencia, bajo la plana aluvial del vaso, de capas subhorizontales de brechas calcáreas cretácicas permeables, lo que ha precisado ajustar su diseño a este condicionante para evitar pérdidas de agua por infiltración.

En este artículo se describe el alcance de la actuación, el diseño estructural de esta presa de materiales sueltos, la solución dada a la impermeabilización del embalse, los detalles constructivos del sistema hidráulico (tomas, desagües y aliviadero) y la repercusión que esta obra tiene sobre la seguridad funcional del Acueducto Tajo-Segura.

Palabras Clave: Presa de tierra; Llanura Manchega; Permeabilidad del vaso; Tapizado con arcilla; Pérdidas por infiltración; Erosión del tapiz; Vaciado del canal; Acueducto Tajo-Segura

Abstract: The recently finished Campos del Paraíso Dam (Cuenca) is the structure in which water resources from the Tajo-Segura Aqueduct are stored. It's the origin of an important water distribution network, make up by more than 1.000 km of pipes, which supplies water to more than 100 populations of the Llanura Manchega area, with around 800.000 inhabitants. The reservoir has two main purposes: the first is a conservation pool and the second is an emergency pool for emptying the Tajo-Segura Aqueduct. The site has a geological singularity due to the existence of a horizontal Cretaceous calcareous limestone of high permeability under the alluvial plain. This determining factor has influenced the dam design, in order to prevent water leakage. This article describes the general scenario, the design of the earthfill dam, the actions that were taken to avoid water leakage, the details of the hydraulic system and the impact of this dam on the Tajo-Segura Aqueduct operational safety.

Keywords: Earthfill dam; Llanura Manchega; Reservoir site permeability; Clay waterproofing lining; Water leakage; Erosion; Aqueduct emptying; Tajo-Segura Aqueduct

1. Introducción

La presa de Campos del Paraíso se encuentra en la zona occidental de la provincia de Cuenca, sobre el cauce del río Valdejudíos. Éste es tributario del Ci-

güela, afluente del Guadiana por su margen derecha. Se trata de una estructura de materiales sueltos, de tierras con núcleo central impermeable, de 18 m de altura sobre cimientos y 517 m de longitud en coronación. El dique corona a la cota 866 (eje de la calza-



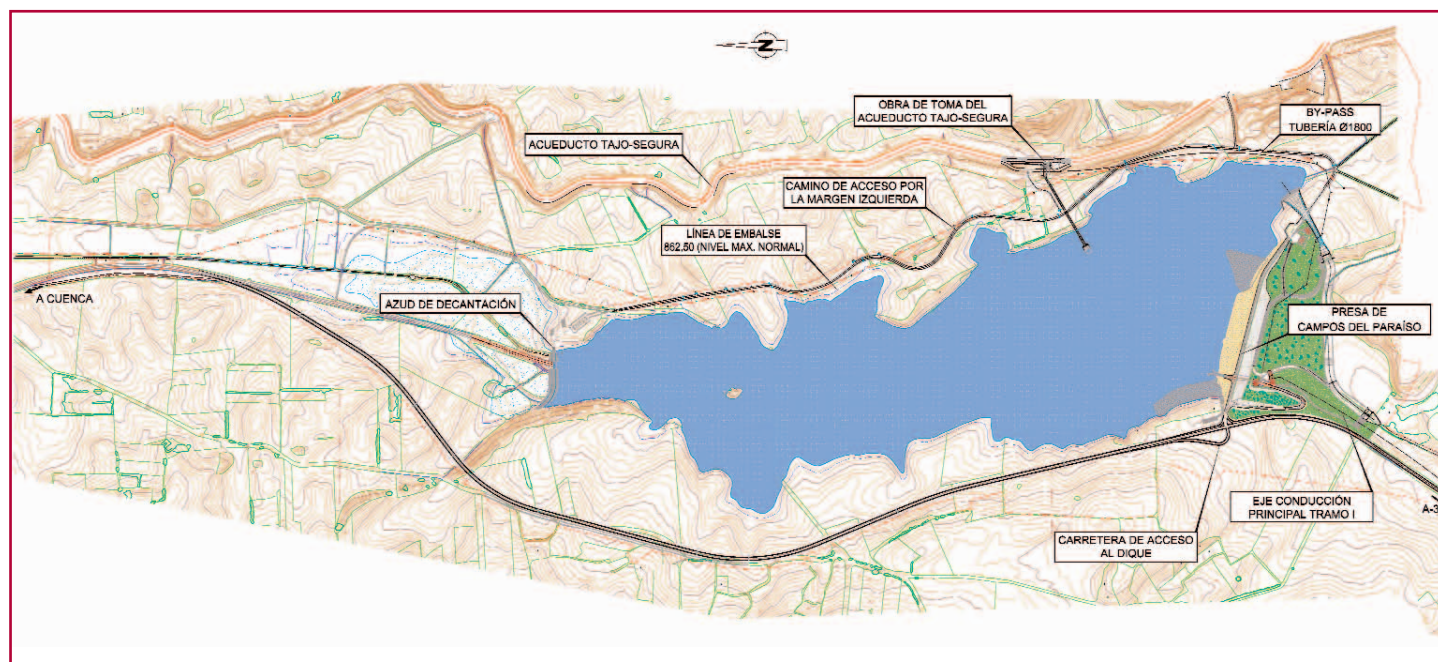


Fig. 1. Plano general del embalse.

da) con una anchura de 10 m. Su capacidad de almacenamiento es de 5,8 hm³. Ha sido construida por la empresa OHL bajo la dirección de Federico López Zafra y Antonio Lanseros Arjona (Confederación Hidrográfica del Guadiana).

Si se considerasen solamente los datos de altura de presa y capacidad de embalse podría inferirse que se trata de una estructura poco relevante en el ámbito del campo de la ingeniería. Sin embargo se trata de una obra sumamente interesante, no sólo por su función estratégica como embalse regulador de los recursos del sistema de abastecimiento de la Llanura Manchega, sino como órgano de seguridad del Acueducto Tajo-Segura al asumir la función de receptor en emergencia del vaciado del canal; se suma a ello la dificultad geológica del emplazamiento y el alto valor añadido del agua que transita por este embalse, lo que ha obligado a adoptar medidas singulares de sellado del vaso y a disponer dispositivos de seguridad redundantes en el equipamiento hidráulico.

Por margen izquierda del vaso, y por encima del nivel de embalse, discurre el Canal de Traslase Tajo-Segura del que deriva los caudales precisos para su llenado. Se erige por lo tanto en el depósito de cabecera de la infraestructura hidráulica del sistema de abastecimiento de las poblaciones de la extensa área de la Llanura Manchega, y de los núcleos urbanos inmediatos al trazado del ATS, con aguas pro-

cedentes de la cuenca del Tajo. En el mismo se regulan los caudales que se suministran de manera discontinua a través de este canal.

La Cuenca del Alto Guadiana, que ocupa la gran planicie de la Llanura Manchega, tiene unos recursos hidráulicos muy limitados dependientes en gran medida de los acuíferos subterráneos, especialmente de los denominados Mancha Occidental y Campo de Montiel, internamente relacionados entre sí y a los que se asocian enclaves ecológicos de alto interés medioambiental existentes en esta región: el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel, el Parque Natural de las Lagunas de Ruidera y otros complejos lagunares.

La sobreexplotación de estos acuíferos (fundamentalmente durante las décadas de 1970 y 1980) se ha traducido en un gran descenso de los niveles piezométricos y en la desconexión del agua del acuífero con los cursos superficiales, anulándose las surgencias naturales de los Ojos del Guadiana y disminuyendo notablemente la aportación superficial o subterránea, a la par que se ha producido el deterioro, contaminación y degradación de la calidad del agua.

La infraestructura hidráulica que actualmente se está construyendo consiste en una extensa red de conducciones con la que se abastecerá a más de un centenar de núcleos urbanos con una población global de unos 800.000 habitantes, cuyo punto de



cabecera es este embalse. Del mismo arranca la conducción de transporte hasta la ETAP de Saelices¹, en donde se potabiliza el agua para su distribución a las redes de abastecimiento².

Junto con este cometido principal la presa de Campos del Paraíso tendrá una segunda función, también muy importante en cuanto atañe a la seguridad del Acueducto Tajo-Segura. Este canal se construyó entre los años 1970 y 1978, comenzando su funcionamiento en pruebas en 1979, siendo su objeto transferir agua de la cuenca del Tajo, a partir del sistema Entrepeñas-Buendía y Bolarque, hacia la región levantina, fundamentalmente Murcia, Alicante y Almería.

El Acueducto Tajo-Segura enlaza el embalse de Bolarque sobre el río Tajo con el de Talave en el río Mundo mediante una conducción de 242 kilómetros de longitud (172 km en canal a cielo abierto, 58 km en túnel, 11 km en acueducto y 1 km en sifón). Consta de dos tramos: el tramo I, desde el embalse de Bolarque al de Alarcón y el tramo II, desde el embalse de Alarcón al de Talave.

Durante su construcción en los años setenta se adoptaron medidas de seguridad básicas frente a los riesgos de caída accidental al interior que inevitablemente conlleva un canal a cielo abierto de tanta longitud, con un camino de servicio que le acompaña en su recorrido. Sin embargo, este canal apenas si dispone de puntos de vaciado en emergencia, en los que se puedan verter los 33 m³/s sin que ocasione daños importantes por desbordamiento de los cauces, función que asumirá el embalse de Campos del Paraíso.

Otro aspecto importante considerado en el diseño de esta presa es la necesidad de reducir las pérdidas de agua, ya que los recursos hídricos que ha de regular son limitados y con un alto valor añadido (en el bombeo desde Bolarque a La Bujeda) frente a la incertidumbre planteada sobre el grado de permeabilidad del vaso por la complejidad geológica de los terrenos en que se encuadra, lo que ha obligado a realizar actuaciones de sellado, encaminadas a minimizar las posibles pérdidas de agua por infiltración al subálveo, mediante el tapizado global

con arcilla de toda la plana aluvial inundada por el embalse.

El proyecto se ha acometido recogiendo las tendencias innovadoras del diseño que mejoran la seguridad de las presas, referentes a la disposición de un sistema hidráulico robusto, elementos de control redundantes, resguardos holgados, y diseño cuidado de filtros y drenes.

2. Condicionantes del proyecto

2.1. El abastecimiento de agua a la Llanura Manchega

La escasa pendiente del terreno de la extensa comarca de la meseta manchega, junto a su alto potencial de infiltración con zonas endorreicas y lagunares, y la no muy alta pluviometría, propician que exista en la misma una red fluvial poco desarrollada, y que sus recursos hídricos sean escasos. La extracción de agua del subálveo ha dado lugar a la sobreexplotación de los acuíferos, secando primero los rebosaderos y los tradicionales pozos someros con sus norias, conllevando de forma drástica y paulatina al descenso profundo del nivel del agua subterránea. Esta reducción de los recursos hídricos ha afectado primero a las zonas lagunares y rebosaderos (lo que ha dado lugar a un incremento del control de las captaciones para consumo de agua de los regadíos locales) y ahora, en la situación actual, el problema se ha trasladado al abastecimiento a las poblaciones.

La utilización del agua del Acueducto Tajo-Segura para abastecimiento de la Llanura Manchega es obligada, ya que al no disponer de recursos hídricos en la zona éstos deben aportarse desde fuera y la mejor opción es aprovechar la infraestructura existente del ATS, el cual discurre a cota suficiente para realizar toda la distribución por gravedad y tiene garantizada la disponibilidad del agua.

El esquema hidráulico del proyecto es el siguiente: captación del Acueducto Tajo-Segura y regulación en cabecera de los volúmenes derivados (presa de Campos del Paraíso); potabilización del agua en el inicio de la red (ETAP de Saelices); eje principal de transporte del agua tratada (conducción de gran diámetro y 175 km de recorrido desde la captación del agua hasta el embalse de Gasset, cru-

(1) Tubería de fundición de diámetro Ø 1.800 mm prevista para transportar un caudal continuo de 2,5 m³/s.

(2) En total son más de 1.000 km de red de tuberías de fundición desde Ø 1.800 mm y q ~ 2,5 m³/s, que distribuyen el agua en las provincias de Albacete, Ciudad Real, Cuenca y Toledo.



Fig. 2. Vista aérea de la presa durante la construcción de las obras.

zando las provincias de Cuenca, Toledo y Ciudad Real); ramales de distribución del agua a todos los núcleos urbanos beneficiarios. A este macroproyecto, cuya ejecución se ha dividido en fases, se ha añadido el abastecimiento de agua a los núcleos de población del entorno del Acueducto Tajo-Segura, todos ellos situados en la provincia de Cuenca (33 núcleos urbanos en la 1ª Fase, ampliables a 24 más en una etapa posterior).

Se trata por lo tanto de una extensa red de conducciones, que globalmente tiene más de 1.000 km de tubería de fundición desde \varnothing 1.800 mm, con presiones estáticas en parte del trazado superiores a 20 atm, dimensionada para suministrar en el horizonte de cálculo un caudal continuo de $\sim 2,5$ m³/s. La protección frente a los daños potenciales derivados de una posible rotura de la tubería se ha realizado mediante válvulas de sobrevelocidad, colocadas en puntos estratégicos de la red. Estas válvulas se cie-

rran automáticamente cuando detectan que se inicia una avería en las conducciones, evitando la salida masiva de agua. La transmisión de la información concerniente a la explotación del sistema se realiza mediante una red de fibra óptica hasta el Centro de Control ubicado en la ETAP de Saelices.

La función del embalse de Campos del Paraíso, dentro del sistema de la Llanura Manchega, es exclusivamente la de regular los caudales aportados por el Acueducto Tajo-Segura (que llegarán de manera discontinua, mediante envíos prefijados de determinados volúmenes de agua), para cederlos a la ETAP de Saelices a caudal continuo en la cuantía en que los demande la red.

2.2. La seguridad del Acueducto Tajo-Segura

El canal está dimensionado para transportar un caudal de 33 m³/s desde el embalse de Bolarque



(río Tajo) hasta el de Talave (río Mundo) en la cuenca del Segura. Dispone de un importante bombeo en cabecera (reversible para ahorrar energía) desde Bolarque (NMN 642) a La Bujeda (NMN 905,5). Exceptuando este bombeo de cabecera, todo el transporte se realiza por gravedad pasando por el embalse de Alarcón (cuenca del Júcar).

Por el tramo I, desde La Bujeda hasta Alarcón, el agua realiza un recorrido de 93 km atravesando la cuenca alta del Guadiana. En ésta sólo hay dos cauces con alguna capacidad de transporte: el Riansares y el Cigüela, que se cruzan con sendos acueductos. La sección del canal es trapezoidal, variable por sufrir cambios en la rasante, pero su área media global es de unos 25 m² y su área útil, descontando el resguardo, es de unos 20,75 m². Cuando funciona a caudal de diseño el volumen de agua circulante que almacena este tramo I es de unos 2 hm³. En emergencia frente a una avería del canal es importante disponer de un dispositivo que desvíe el caudal circulante y evite el vertido masivo de agua por desbordamiento de la sección y la inundación consiguiente. El embalse de Campos del Paraíso, situado en la zona intermedia (en el PK 40,3 del tramo I del Acueducto Tajo-Segura) asume la función de este dispositivo de seguridad para almacenamiento en emergencia del agua circulante. El diseño de la obra de captación, como se describe posteriormente, se realiza con este objetivo.

2.3. La geología del emplazamiento

La presa de Campos del Paraíso está situada dentro de una extensa área miocénica del Vindoboniense y Burdigaliense, en la que predominan las arcillas limosas con yesos. En el interior del embalse, en ambas márgenes, afloran también los materiales subyacentes del Cretácico, constituidos por brechas calcáreas, yesos masivos, y arcillas margosas. El cauce discurre por un suave valle ocupado por rellenos cuaternarios aluviales, con potencia que puede alcanzar los 10 m en la plana del río.

Toda la parte llana inferior del vaso (las amplias áreas situadas a nivel del cauce, anteriormente dedicadas a labor de secano), están ocupadas, como se ha dicho, por materiales aluviales cuaternarios. Estos sedimentos aluviales están constituidos por arcillas, limos, arenas y cantos, con disposición errática y potencia importante. Las zonas arenosas for-

man paquetes subhorizontales, con disposiciones en abanico o en bolsas, y son permeables.

Bordeando la llanura inferior del vaso afloran los materiales cretácicos y miocénicos (brechas calcáreas, areniscas, arcillas rojas de la formación Huelves, y arcillas verdes margosas con yesos). Estos materiales están dispuestos en bandas subhorizontales interconexionadas con bolsadas, y distribución heterogénea. En los sondeos realizados el freático se ha encontrado a nivel del cauce, con síntomas claros de ser zonas semipermeables, tanto en una margen como en la otra.

Se trata por lo tanto de un terreno con una orografía muy suave, que se encuentra recubierto en su mayor parte por materiales limosos y arcillosos, apareciendo puntualmente en las laderas (en las zonas no recubiertas con coluviones) afloramientos de brechas calcáreas y arcillas margosas, y algunas calizas lacustres, conglomerados y areniscas. Los ensayos efectuados indican que las arcillas y limos superficiales tienen buenas condiciones de impermeabilidad, obteniéndose en laboratorio, valores del orden de 10⁻⁷ cm/s, mientras que las brechas calizas pueden tener mayor problema de permeabilidad, presentando valores de 10⁻³ cm/s a 10⁻⁴ cm/s, al igual que los conglomerados y las arenas cuaternarias que aparecen en retazos de la plana inferior del vaso.

La morfología de estas capas, y la disposición subhorizontal heterogénea en que se encuentran, indica que el agua que se filtra al subsuelo puede dirigirse en cualquier dirección, y no necesariamente hacia aguas abajo siguiendo el cauce del río, al no estar estas capas de mayor permeabilidad confinadas en el embalse.

La geología local del vaso (y por ende la de la propia cerrada) ha planteado, desde el inicio del proyecto, la incertidumbre sobre la permeabilidad del embalse. En los reconocimientos de campo que se han venido realizando se ha constatado que por los paquetes subhorizontales permeables se podría perder parte del agua almacenada (sondeos permeables en los que el freático desciende suavemente conforme se alejan del cauce hacia las laderas). El alto valor añadido del agua del Acueducto Tajo-Segura, que se almacenará en este embalse, ha motivado que se haya continuado ampliando la investigación geológica inicial y, como consecuencia del mayor conocimiento del problema, que se

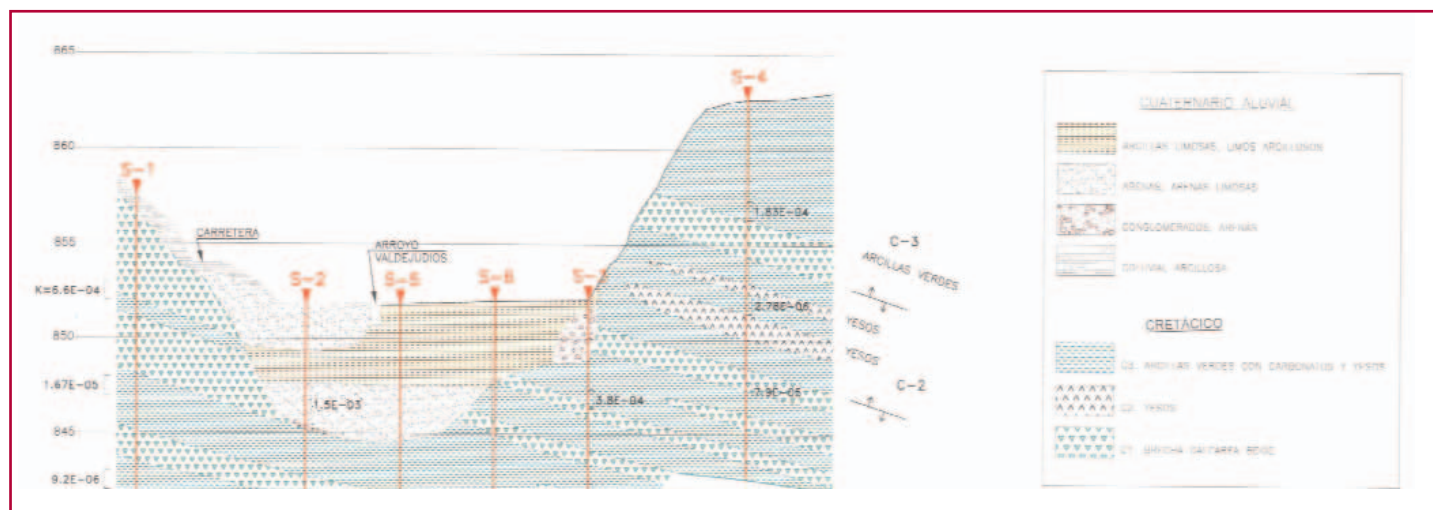


Fig. 3. Corte geológico de la cerrada.

haya modificado el plan inicial de sellado del dique, sustituyendo la pantalla de impermeabilización de la cerrada por un tratamiento global de calafateo de la totalidad del vaso.

En el Proyecto de Construcción (1) se hizo un estudio geológico en cuyas conclusiones, entre otros aspectos, se indicaba lo siguiente:

- Alta permeabilidad de las brechas cretácicas.
- Posibilidad de existencia de paleocanales permeables en el aluvial y necesidad de interceptar los mismos.

Estas conclusiones no fueron tranquilizadoras, ya que por un lado se decía que en el sustrato del vaso alternaban los paquetes de arcilla con los de los materiales cretácicos permeables y que el recubrimiento aluvial de la amplia planicie cultivable contigua al cauce podía tener paleocanales indefinidos y permeables por donde podía circular el agua (entendiendo que estos paleocanales pueden interconectar el vaso con las brechas cretácicas). Esta incertidumbre hizo que, durante la ejecución de la obra, se llevase a cabo una extensa campaña de investigación geológica en la que se abrieron 158 calicatas, se hicieron 6 sondeos adicionales de reconocimiento, se instalaron 7 piezómetros (en taladros de 30 m de profundidad entubados con PVC ranurado) para seguimiento del nivel freático, se levantaron 5 perfiles geológicos y se ensayaron en laboratorio muestras distintas de los materiales extraídos.

En el documento "Estudio geológico complementario del depósito de regulación", emitido en Marzo

de 2007, se recogen los resultados de la investigación de campo realizada. En el mismo se vuelve a señalar la incertidumbre que suscita la impermeabilidad del vaso, indicando lo siguiente:

- Las brechas calcáreas que subyacen en el vaso, y en la cerrada, tienen una permeabilidad comprendida entre 10^{-5} y 10^{-3} cm/s, con un promedio más próximo a 10^{-3} cm/s. En los sondeos los ensayos Lefranc conforman una permeabilidad media-alta en este material (entre $1,4 \times 10^{-3}$ y $6,6 \times 10^{-4}$ cm/s).
- La permeabilidad del aluvial varía según su composición, habiéndose detectado la existencia de lentejones y canalizaciones granulares de permeabilidad media-alta (promedio 10^{-4} cm/s).
- Se desaconseja el desmantelamiento del manto aluvial, al ser una cubierta protectora que impide las fugas de agua al sustrato cretácico.
- La fuga del agua puede producirse desde el vaso en cualquier dirección, por lo que la impermeabilidad del mismo debe ser global.

La información sobre los resultados de esta investigación de campo figura en el documento antedicho, del cual se ha tomado el corte geológico adjunto, dado por el eje de la presa. Este estudio vino a confirmar que la alternancia de paquetes de brechas calcáreas con otros de material arcilloso era un tanto heterogénea en su disposición y potencia, pero siempre son subhorizontales y con ligero buzamiento hacia margen izquierda. Asimismo se confirmaba que los lentejones y canalizaciones existentes de material are-



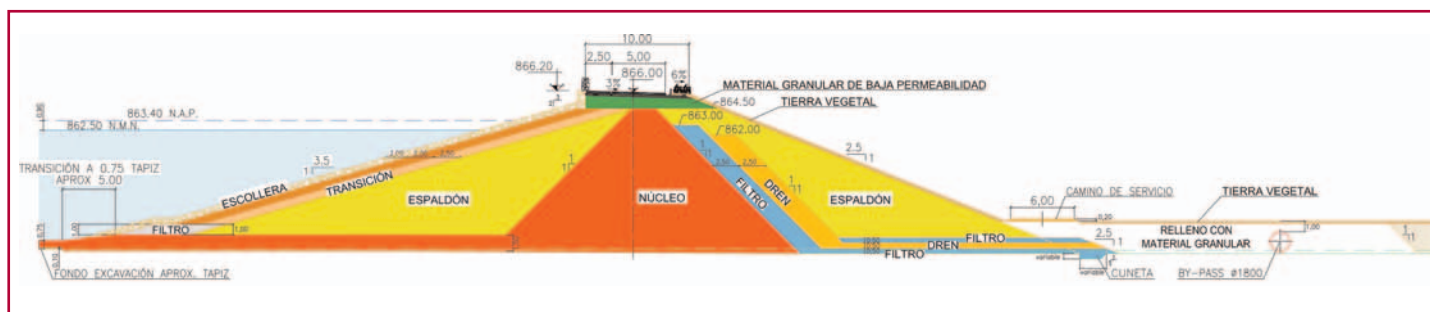


Fig. 4. Sección tipo de la presa.

noso permeable del aluvial pueden tocar en algún área las brechas calcáreas, aunque en general el aluvial de naturaleza eminentemente limo-arcillosa ejerce una función importante de sellado del vaso. En consecuencia, se decidió no utilizar el aluvial del vaso para construir el dique de la presa, sino acudir a canteras externas. Por otro lado el tratamiento individualizado de áreas permeables del aluvial era una misión imposible, ya que su irregularidad manifiesta impide realizar esta operación con acierto. Por ello, se decidió impermeabilizar con un tapiz de arcilla todo el fondo del vaso, al considerarla como alternativa preferente respecto a la de disponer una lámina de plástico en toda la superficie (2).

3. Sección tipo de la presa

Campos del Paraíso es una presa zonificada de tierras, con núcleo central grueso, de 18 m de altura sobre cimientos y 517 m de longitud de coronación. La coronación se encuentra situada a la cota 866 (eje de calzada), y tiene un ancho de 10 m (5 m de calzada, más 2,50 m de la acera frontal, más otros 2,50 m terrizos por aguas abajo). La acera frontal está aproximadamente a la cota 866,10 (el afirmado es de hormigón impreso, con pendiente del 3% hacia aguas abajo en acera y calzada, hasta una cuneta longitudinal que discurre por el borde terrizo). Por el borde de aguas arriba de la coronación discurre un pretil ornamental de mampostería.

La sección tipo de la presa tiene taludes 3,5/1 por aguas arriba y 2,5/1 por aguas abajo, y dispone de un núcleo central grueso de arcilla (con taludes 1/1 por ambas caras). Por el lado de aguas arriba el núcleo se prolonga, a nivel del cimiento, con una capa de base ejecutada con ese mismo material, de 1,50 m de espesor, que conecta con el tapiz del vaso y sobre la cual apoyan todos los materiales del espaldón.

El espaldón de aguas arriba está constituido por un material arcilloso extraído de una cantera contigua a la margen derecha del vaso (arcilla con cantos). Sobre éste apoyan dos capas de transición y sobre las mismas el rip-rap de protección frente al oleaje. Las capas de transición son la inferior una zahorra (calle de 2,50 m de anchura) y la superior un todo uno de la cantera de caliza de donde procede el rip-rap (también una calle de 2,50 m de anchura). La escollera del rip-rap son piedras calizas de gran tamaño, colocadas y paramentadas con retroexcavadora. En la base de apoyo de estas capas granulares se ha interpuesto una transición para evitar que carguen directamente sobre la capa inferior de arcilla que conecta el núcleo con el tapiz del vaso.

El espaldón de aguas abajo está constituido por el mismo material que el de aguas arriba (arcilla con cantos). El paramento de este espaldón está recubierto con una pequeña capa de tierra vegetal, para mejorar la integración paisajística del dique.

Entre el material del espaldón de aguas abajo y el núcleo de la presa hay un dren chimenea bicapa, en

Fig. 5. Coronación de la presa vista desde el estribo izquierdo.



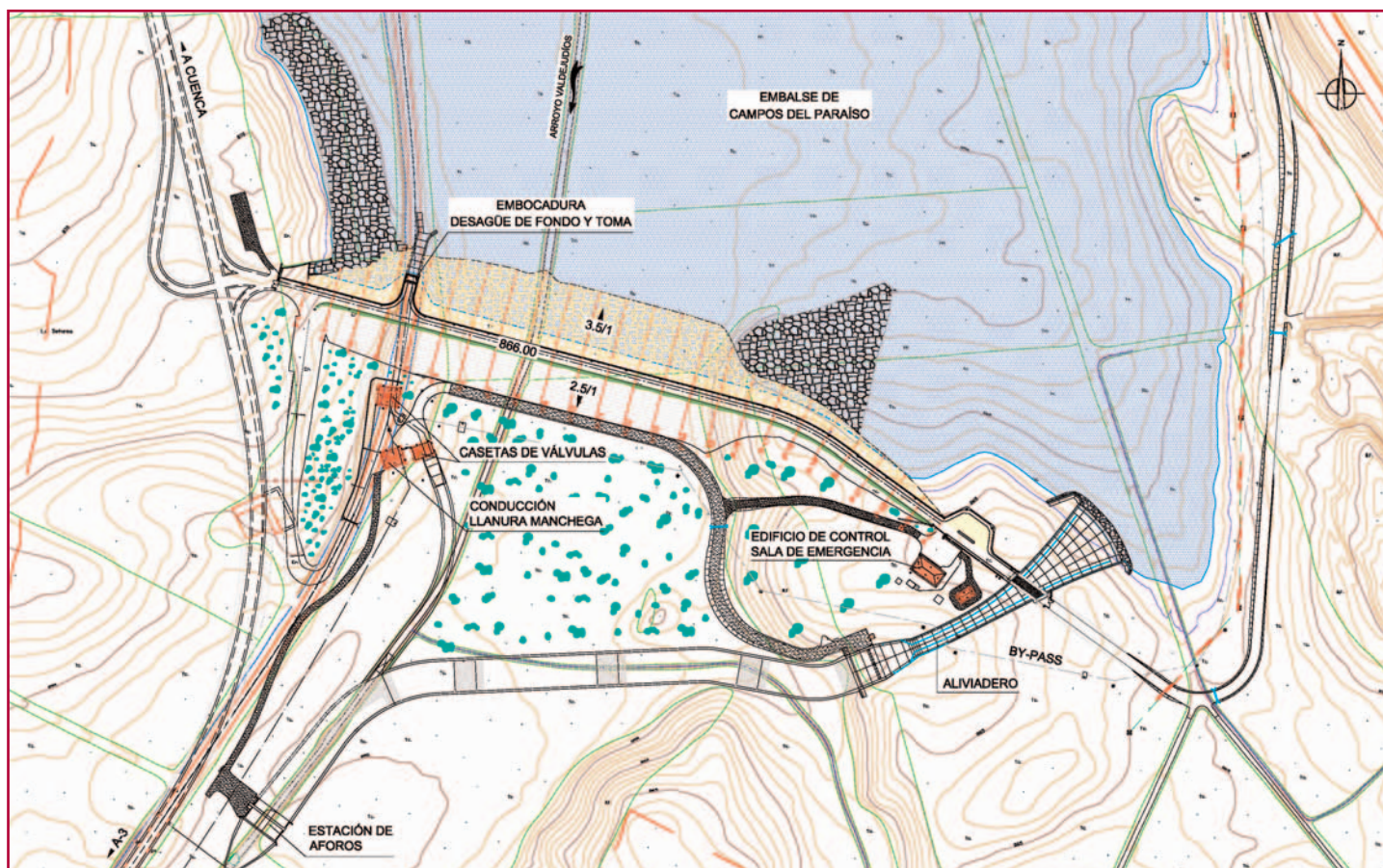


Fig. 6. Planta de la presa.

el que ambos paquetes cumplen la condición de filtro y cada uno tiene un ancho de calle de 2,50 m. La capa del lado de aguas arriba es una arena y la de aguas abajo es una gravilla, las dos procedentes de graveras del Tajo.

También en el cimientto del espaldón de aguas abajo se ha dispuesto un filtro-dren de base, conectado al dren chimenea, constituido por 3 capas de 0,50 m de espesor, formando un emparedado (arena-gravilla-arena). En los recintos del cimientto del núcleo en que afloran las brechas calcáreas se ha colocado un blindaje de hormigón, previamente a la colocación del material de la presa (3).

4. Órganos de desagüe

4.1. Aliviadero

El aliviadero está ubicado en la margen izquierda, es de labio fijo con entrada frontal, con canal de descarga de ancho variable prácticamente en todo su

recorrido, en suave transición de acoplamiento entre el vertedero y el canal terminal, y planta ligeramente curvada. La restitución al río se realiza mediante un cuenco amortiguador. Se ha construido en hormigón armado. Ha sido ensayado en modelo reducido en el laboratorio de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, de Ciudad Real.

El vertedero es un perfil Creager, con umbral del labio a la cota 862,50 y desarrollo de 50 m. Los muros de acompañamiento de los estribos se prolongan hacia el interior del embalse, con forma de aletas abocinadas, para favorecer la entrada del agua.

El canal de descarga se adapta a la topografía del terreno de la vaguada mediante varios tramos con rasante de pendiente creciente, enlazados mediante acuerdos. Bajo la solera se disponen dos drenes longitudinales, que recorren todo el canal de descarga hasta la entrada al cuenco.

El cuenco consiste en una cubeta de hormigón de 22,5 m de ancho y una altura máxima de cajeros de 7,25 m, con una línea de dientes en la solera. La salida está protegida con escollera. El reintegro al cauce se



realiza mediante un canal en tierra, que discurre aguas abajo de la amplia plataforma dispuesta a pie de presa. Este canal mantiene sensiblemente en la solera la anchura del cuenco, y su sección es trapezoidal con los taludes laterales protegidos con escollera.

4.2. Desagües de fondo

Los conductos de desagüe atraviesan la sección de la presa alojados en zanja rellena de hormigón. Discurren por el estribo de margen derecha, bajo el cimiento del núcleo de la presa. El desagüe derecho comparte el conducto con la toma de abastecimiento, mientras que el izquierdo es un tubo independiente.

La toma del embalse se realiza a través de un canal abierto, de sección rectangular, con paredes de hormigón armado de 1 m de espesor, 6,80 m de ancho interior libre y unos 30 m de longitud. Al término del canal está la cámara de carga. Consiste en una torre rectangular, con planta de 5 x 6,80 m interior, altura 11,56 m, solera y muros de sección variable, y cubierta de 1 m de espesor, todo construido en hormigón armado. El nivel del techo de la cubierta coincide con la coronación de la presa, desde la cual se puede acceder con maquinaria para las operaciones de mantenimiento.

En la entrada del agua a la cámara (cara frontal de la torre) hay un pequeño umbral sobre la solera, y sobre éste quedan las rejas que ocupan todo el ancho de la sección. En la cara opuesta se sitúa la salida de los conductos, con sus guideras correspondientes para colocación de un escudo de cierre que permita dejar en seco los tubos en caso necesario. Estas guideras llegan hasta la cubierta de la cámara.

El conducto derecho es el compartido por la toma de abastecimiento y el desagüe de fondo. Tiene 2,20 m de diámetro. El conducto izquierdo sólo tiene función de desagüe de fondo y es de 1,20 m de diámetro. Ambos son de chapa de acero inoxidable AISI 304, de 12 mm de espesor. Bajo la presa los conductos discurren en zanja hormigonada. Los tubos llevan incorporados anillos de rigidización cada 0,50 m (platabandas de acero AISI 304), que a su vez impiden la circulación del agua por la interface.

A la salida del pie de presa los conductos continúan alojados en zanja hormigonada hasta llegar a la primera de las tres casetas existentes aguas abajo, en la que se alojan las válvulas de seguridad, compartida por el desagüe de fondo y la toma. En el conducto iz-

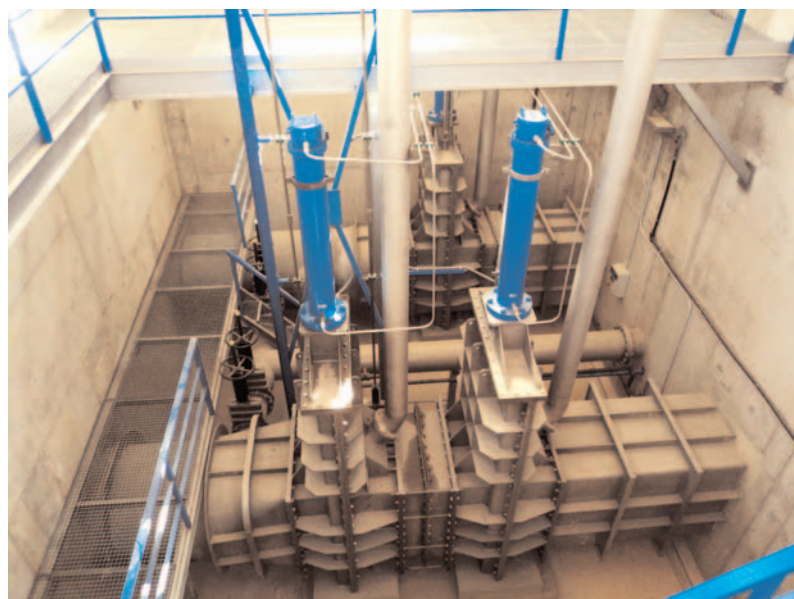


Fig. 7. Caseta de desagüe.

quierdo (exclusivamente con función de desagüe de fondo) hay sólo una válvula Bureau de 1.000 x 1.200 mm, y en el derecho dos válvulas también Bureau, de dimensiones 1.750 x 2.200 mm, colocadas en serie, que cierran el conducto derecho (4).

A la salida de esta primera caseta el tubo Ø 1.200 mm se desvía a la izquierda, y del tubo derecho (Ø 2.200 mm) se deriva el otro conducto Ø 1.200 mm de desagüe de fondo, que discurre paralelo al primero hasta la caseta de desagüe. En ella se aloja una válvula Bureau de 1.000 x 1.200 mm en el conducto izquierdo, y otras dos en serie de las mismas dimensiones en el conducto derecho.

La entrega del agua al cauce se realiza a través de un dissipador de impacto, según modelo también ensayado en el laboratorio de la Escuela de Caminos de Ciudad Real. La salida del dissipador se ha protegido con escollera, y el cauce se ha regularizado hasta la zona en que entronca con el canal que llega desde el aliviadero de la presa.

4.3. Toma para abastecimiento

La obra de la toma de agua para abastecimiento es, como se ha indicado anteriormente, la misma que la de los desagües de fondo. Resumiendo, de la torre de toma, ubicada en el estribo de margen derecha de la presa, parten dos conductos, de los que el derecho (de Ø 2.200 mm) es el de la toma.

Aguas abajo de la derivación del desagüe de fondo entronca con el conducto de toma la tubería del

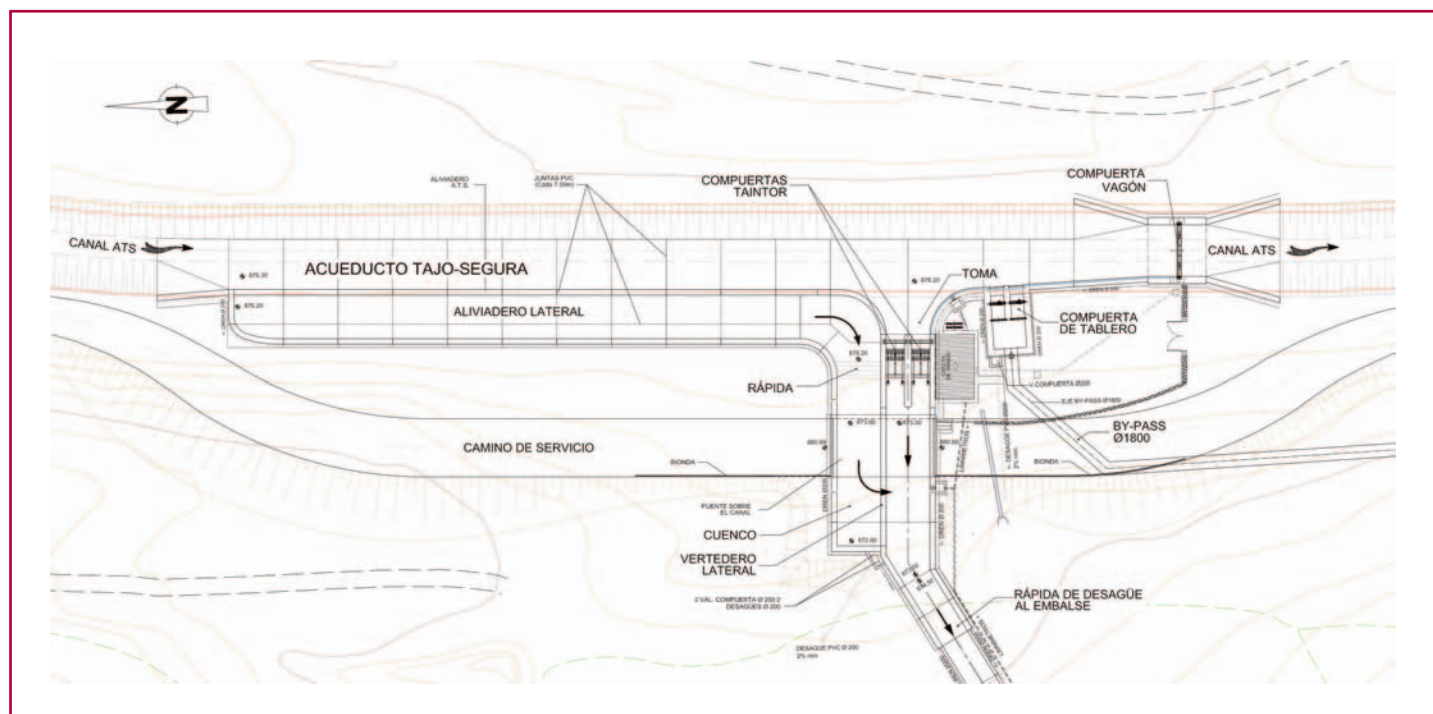


Fig. 8. Toma del Acueducto Tajo-Segura.

by-pass Ø 1.800 procedente directamente de la captación del ATS. La alimentación a la conducción que transporta el agua a la ETAP general de Saelices se puede hacer, por lo tanto, bien desde la presa de Campos del Paraíso o bien a través de este by-pass que deriva el agua directamente del Acueducto Tajo-Segura. Sin embargo, es probable que, en la explotación de las obras, la mayor parte del agua se derive de la almacenada previamente en el embalse, por intervenir en el proceso de la explotación del Acueducto Tajo-Segura varias administraciones (teniendo en cuenta que habrá un cupo de agua para cada destino). Aunque el uso del by-pass será pequeño, sin embargo permite evitar el paso por la presa, lo cual puede ser útil en algunas circunstancias durante la explotación. Aguas abajo de la conexión de entronque se encuentra la caseta de cabecera de la conducción de abastecimiento, en la que está la válvula de corte, con la que se aislaría la entrada de agua procedente de ambas fuentes (la presa y el by-pass).

5. Toma del Acueducto Tajo-Segura

La obra de captación está situada a la altura del P.K. 40+300 del canal. En esta zona el Acueducto Tajo-Segura discurre por la ladera de margen izquierda del embalse, aproximadamente a la cota 880, es decir

unos 14 m por encima de la coronación de la presa. Dispone de 3 vías de derivación del agua del canal:

- La primera es una acometida directa mediante un canal de derivación que se opera con 2 compuertas Taintor y que vierte las aguas al embalse a través de una rápida. El canal de derivación es de sección rectangular de 6 m de anchura, con embocadura abocinada en cuarto de círculo. Tras la embocadura la sección se divide en dos mediante una pila central de 1 m de espesor. En cada uno de los vanos hay una guidera con una atagüa y, tras ella, quedan las compuertas Taintor de 2,50 m de anchas. El caudal evacuado por ambas se vierte a un cuenco común, también de sección rectangular de 6 m de ancho y 18 m de desarrollo, y desde éste el flujo pasa al canal de la rápida con un pequeño quiebro, con escalón ascendente de 1,50 m y estrechamiento, con lo que se fija la sección de control. El canal de la rápida tiene también sección rectangular de hormigón armado, con altura de 2,25 m, ancho de 4 m, longitud de 181,50 m y pendiente variable, que desagua en un segundo cuenco amortiguador desde el cual se vierte el agua al embalse. La salida del cuenco al embalse está protegida con escollera. Adosada por el lado de aguas abajo de la sec-





Fig. 9. Aliviadero lateral de la toma del Acueducto Tajo-Segura.

ción que alberga las compuertas Taintor está la caseta con los equipos oleohidráulicos de accionamiento.

- La segunda es un aliviadero lateral de 80 m de longitud, situado en el lado de aguas arriba de la acometida directa antes descrita, diseñado para poder evacuar por el mismo los 33 m³/s de capacidad teórica máxima del Acueducto Tajo-Segura con una sobreelevación de aproximadamente 0,40 m, que queda dentro de los márgenes de holgura disponibles en el resguardo del canal³. A través de este aliviadero lateral se puede derivar por lo tanto todo el caudal del Acueducto Tajo-Segura, por lo que constituye un dispositivo fundamental para la seguridad del propio Acueducto.
- El tercer dispositivo de captación es un enlace directo mediante una tubería que conecta el Acueducto Tajo-Segura con la salida de la toma de la presa. Este by-pass es una tubería de fundición de 1.800 mm de diámetro que arranca en la arqueta de derivación situada del lado de aguas abajo de la acometida al embalse. La conexión de la arqueta con el canal es de doble entrada al interponer en la embocadura una pila central intermedia que divide la sección en dos de 1,80 m de anchura, en las que se dispone una reja de protección,

una compuerta mural motorizada para control del paso del agua y una guidera para colocación de un escudo de cierre provisional. Ambas entradas confluyen en la arqueta común, que es la cámara de carga desde la que parte la conducción del by-pass, la cual discurre por la ladera izquierda del embalse, contorneando la presa por el lado de aguas abajo, hasta alcanzar la toma Ø 2.200 con la que conecta.

Aguas abajo de las tres captaciones descritas se ha construido una almenara sobre el Acueducto Tajo-Segura, con la que se controla el caudal de paso, permitiendo mantener el nivel o bien cortar y derivar íntegramente todo el caudal circulante. Consiste en una compuerta vagón motorizada de 7,10 m de ancha y 3,30 m de alta. Para ello en el Acueducto Tajo-Segura se han construido las correspondientes transiciones de entrada y salida a sección rectangular.

6. Impermeabilización del vaso

Evitar las pérdidas de agua del vaso del embalse por percolación a través de las conexiones del aluvial con las brechas cretácicas ha sido una de las decisiones importantes tomadas durante la ejecución de las obras. La incertidumbre sobre la existencia de estas conexiones se zanjó tras realizar un importante reconocimiento de la plana aluvial mediante catas dispuestas en cuadrícula en donde se observó que los recintos de arenas y zahorras permeables tienen un desarrollo errático, con bolsadas y derrames en abanico, que alcanzan a los materiales cretácicos subyacentes.

El sellado superficial de toda la plana aluvial era por tanto ineludible para asegurar la estanqueidad del vaso. El dilema entre utilizar una lámina plástica o tapizar con arcilla, se decantó por esta segunda solución, más sencilla y económica. La cuestión nueva a dilucidar provenía de la estabilidad del tapiz en el tiempo, es decir si la erosión generada por el oleaje del embalse o por las escorrentías de la lluvia podían llegar a dañar seriamente la capa de arcilla del tapiz. Ello obliga a limitar la pendiente de la superficie en que se coloca el material y también de las características de éste (interesa emplear un material plástico, con esqueleto granular que facilite el encostramiento).

(3) Actualmente la capacidad real del Acueducto Tajo-Segura no supera en algunos tramos del recorrido los 30 m³/s, por lo que el caudal máximo que realmente se trasvasa no supera este umbral. El diseño del aliviadero (y de todo el conjunto de la toma), hecho para 33 m³/s, dispone por lo tanto de este pequeño margen de holgura adicional.



Fig. 10. Vista aérea de la presa.

to), así como la protección de las vaguadas que recogen la escorrentía de la lluvia.

Teniendo en cuenta las limitaciones antedichas se realizó el tapizado completo del fondo del vaso, con una capa de arcilla procedente de la misma cantera que la utilizada en el núcleo de la presa, con las siguientes operaciones:

- Desbroce y regularización de toda la superficie del fondo del vaso, incluyendo el perfilado y compactado de la misma.
- Colocación de una capa continua de arcilla en toda la superficie del fondo del vaso, de 0,75 m de espesor, puesta en obra en dos subtongadas de aproximadamente la mitad del espesor final compactadas con rodillo.

La mayor extensión del vaso la ocupa la plana aluvial, que es la de más carga hidráulica, prácticamente horizontal o de pendientes muy suaves. El movi-

miento del oleaje del agua no tiene fuerza para arrastrar la arcilla de esta zona, por lo que el manto es muy estable y no precisa protección alguna.

Las laderas del contorno del vaso exigen un tratamiento diferencial de calafateo, extendido fundamentalmente a los afloramientos de las brechas calcáreas, teniendo en cuenta que en éstos la pendiente del terreno es más acusada y el efecto del oleaje es mayor, por lo que se puede producir el arrastre de la arcilla. Precisan por lo tanto otro tipo de protección, bien colocando una capa de material granular encima de la arcilla, o estabilizando superficialmente ésta con cemento (la erosión y arrastre de la arcilla puede hacer inviable, o inefectivo, el tapizado de las laderas, ya que si no se protege acaba perdiéndose el material de sellado).

Aunque este proceso erosivo es de poca trascendencia en este embalse, en el que las pendientes en general son muy suaves y la protección de estas zonas es mucho menos importante que la de la plana

aluvial, sin embargo hay zonas concretas que se han protegido superficialmente con material granular apropiado para evitar el descarnado del tapiz, como son las zonas de concentración de las escorrentías de la lluvia, y las de pendiente más acusada.

7. Conclusiones

La presa de Campos del Paraíso constituye la cabecera de la infraestructura de abastecimiento de la Llanura Manchega. Su función es regular los volúmenes de agua que llegan en envíos programados a través del Acueducto Tajo-Segura, para desde ella darlos a caudal continuo a la ETAP según la demanda de la red. Otra función complementaria es la de mejorar la seguridad del canal, como receptor del vaciado del mismo en situación de emergencia.

El abastecimiento a la Llanura Manchega es un importante proyecto, actualmente en ejecución, con el que se suministrará agua potable a más de un centenar de poblaciones con un censo global de unos 800.000 habitantes, a través de una red de tuberías de más de 1.000 km de longitud prevista para suministro de un caudal continuo de unos 2,5 m³/s.

El Acueducto Tajo-Segura está dimensionado para transportar un caudal de 33 m³/s desde el embalse de Bolarque (cuenca del Tajo) al de Talave (cuenca del Segura), pasando a mitad del recorrido por el de Alarcón (cuenca del Júcar). El volumen de agua que almacena la sección del canal en el tramo I (desde Bolarque a Alarcón), cuando se transporta el caudal de diseño, es de unos 2 hm³. En emergencia, ante una avería del canal, es importante disponer de un dispositivo de desvío del caudal circulante que evite el vertido masivo del agua por desbordamiento de la sección y la inundación consiguiente. El embalse de Campos del Paraíso está situado a mitad del recorrido de este tramo I, asumiendo la función de almacenamiento en emergencia el agua que transporta el ATS.

El emplazamiento del embalse se halla sobre una planicie aluvial bajo la cual subyacen capas de bre-

chas calcáreas permeables en alternancia con otras de arcilla, todas ellas en disposición subhorizontal con ligero buzamiento hacia margen izquierda. En la plana aluvial hay canalizaciones, derrames en abanico y bolsadas arenosas permeables, algunas de las cuales posiblemente conectan con las brechas cretácicas del muro, lo que ha inducido sospecha sobre la estanqueidad del vaso (que puede perder agua por infiltración para perderse en el subálveo).

Al ser los recursos hídricos disponibles limitados y con un valor añadido importante (han sido bombeados en cabecera para salvar el desnivel geométrico entre Bolarque y La Bujeda), se ha procedido a asegurar la estanqueidad tapizando con arcilla toda la plana aluvial del embalse. Este tapiz se ha conectado con el núcleo de la presa (con sección zonificada de tierras de taludes tendidos) prolongando el manto del tapiz bajo el espaldón de aguas arriba.

La solución adoptada para el sellado de la plana aluvial del vaso se ha seleccionado frente a la alternativa de colocar una lámina plástica, por resultar en este caso más económica y fácil de ejecutar. El comportamiento de los tapices de arcilla es bueno si son estables frente a la acción del oleaje del embalse y a las escorrentías de la lluvia. En este embalse la plana aluvial es horizontal o de pendiente muy suave, y buena parte de su extensión queda por debajo del umbral de salida de los desagües de fondo, por lo que el manto colocado es estable y no precisa protección alguna.

Sin embargo las laderas del contorno del vaso han exigido un tratamiento diferencial de calafateo, en donde se ha procedido a proteger localmente las áreas vulnerables con materiales granulares.

El diseño del sistema hidráulico de la presa es muy robusto y acorde con las tendencias innovadoras actuales: aliviadero de labio fijo de entrada frontal y amplio desarrollo, situado fuera de la presa; conductos y elementos metálicos de acero inoxidable; sistema de cierre de los conductos triplicado; fácil acceso a todos los órganos de la presa; equipamiento de auscultación suficiente; y resguardos holgados en los niveles de embalse. ♦

Referencias:

-(1) Proyecto de Construcción de la conducción de agua desde el Acueducto Tajo-Segura para incorporación de recursos a la Llanura

Manchega. Confederación Hidrográfica del Guadiana. Julio 2005.

-(2) Modificación nº 1 del Proyecto. Confederación Hidrográfica del Guadiana. Julio 2007.

-(3) XYZT de la presa de Campos del Paraíso.

Confederación Hidrográfica del Guadiana. Julio 2012.

-(4) Programa de puesta en carga de la presa de Campos del Paraíso. Confederación Hidrográfica del Guadiana. Agosto 2012.

Campos del Paraíso Dam. Origin of the Llanura Manchega water supply distribution system



The recently finished Campos del Paraíso Dam is the reservoir located at the origin of the Llanura Manchega water distribution system. Its main function is to store the water resources that came by means of the Tajo-Segura Aqueduct, releasing then a continuous flow to water supply network. Once the reservoir has been planned a secondary but also important function arose, which is to serve as an emergency pool where the aqueduct could be empty if required.

The Llanura Manchega water supply is an important project, currently in construction, for supplying more than 100 populations with 800.000 inhabitants. Besides the dam, the system is made up by a modern water treatment plant and water distribution network larger than 1.000 km, for a design flow of 2,5 m³/s.

Tajo-Segura Aqueduct is designed to convey up to 33 m³/s. It goes from Bolarque Dam (on Tajo River Basin) to Talave Dam (on Segura River Basin) via Alarcón Dam (on Júcar River Basin). The volume of water that could be transitory stored in the first stretch of the aqueduct (from Bolarque to Alarcón) is 2 hm³. It's important to have a structure in which the water could be stored in case of failure, avoiding a massive uncontrolled discharge that may produce serious damages. The Campos del Paraíso Reservoir is located approximately in the middle of this first stretch, so it could carry out this function serving as an emptying pool if necessary.

The site is located on an alluvial plain with permeable layers of Cretaceous limestone below. These permeable



layers have a horizontal arrange, with a very small dip to the left bank. The alluvial plain has signs of fossil riverbeds, alluvial fans and sand pockets that may connect the surface with the permeable layers underneath. So the reservoir site was not waterproof enough and water could leak.

As water resources are very valuable, and those ones especially because they come from other basin and it's necessary to pump them, it was very important to avoid any water leakage. A clay blanket has been placed for waterproofing the reservoir. This blanket goes underneath the upstream shoulder and is linked with the core of the earthfill dam.

The alternative of using a clay blanket was selected over the alternative of using a plastic lining, because it was easier and cheaper. Behaviour of clay blankets is good if they resist properly the waves and the surface runoff. In this reservoir the slopes are very gently so it only has been necessary to carry out local treatments in sensitive points where a granular protective layer has been placed. In parts located under the death storage it hasn't been necessary any additional action.

The design of the dam and the hydraulic system is very robust; in line with the recent trends which focus on safety and durability. It's remarkable the use of stainless steel for the construction of the hydraulic elements, the layout of the outlets with three closing valves, the use of an uncontrolled spillway and the design with a large safety freeboard. ♦

