

La importancia de los pequeños detalles de diseño de la presa de Las Navas del Marqués

Revista de Obras Públicas
nº 3.509. Año 157
Abril 2010
ISSN: 0034-8619

The importance of small details in the design of Las Navas del Marques Dam

Jesús Morán Cabrerós. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Confederación Hidrográfica del Tajo. jesus.moran@chtajo.es

Isabel Granados García. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

INPROES. igranados@inproes.net

Alfredo Granados García. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

ETSI Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. a.granados@upm.es

Resumen: En esta presa de gravedad de planta curva se han introducido una serie de pequeños detalles constructivos que inciden favorablemente sobre la seguridad estructural, la funcionalidad de la explotación y la estética de la obra, con un incremento porcentual insignificante del costo. En el artículo se describe cada una de estas actuaciones, el objetivo de las mismas, y su repercusión sobre el costo.

Palabras Clave: Presa; Gravedad; Estética de las presas; Islas en embalses; Funcionalidad de las presas

Abstract: Some small details that have been introduced in the design of Las Navas del Marqués gravity-arch dam had a positive effect on the structural security, functionality during exploitation and aesthetics of the dam, with an insignificant increment in the total budget of the work. The description of those points, their objectives and their impact on the global cost, are described in this paper.

Keywords: Dam; Gravity; Dam aesthetics; Islands on the reservoir; Functionality of the dams

1. Introducción

La presa de Las Navas del Marqués, cuya construcción finalizó al término del año 2006, se halla en la provincia de Ávila, en la zona alta de la Sierra de Malagón sobre el río Valtraviés, en la cuenca del Alberche. El embalse tiene una capacidad de 2 hm³, suficiente para abastecimiento durante el periodo de verano de la población estacional que se acumula en esta zona abulense próxima a la ciudad de Madrid.

La obra ha sido realizada por Confederación Hidrográfica del Tajo (ingeniero director del Proyecto D. Jesús Morán e ingeniero director de las obras D. Juan Manuel Cervós), la empresa constructora ha sido OHL, y la asistencia técnica la ha realizado INPROES.

La cerrada en que se ubica queda inmediatamente aguas abajo de la zona en que el cauce da un giro de 90° hacia el Sur, saliéndose de la falla regional de dirección O-E por donde deambula el curso alto del río. En la posición seleccionada para la presa, el río atraviesa una mesa tubular de leucogranitos, imbrí-

cada intrusivamente en la etapa tardihercínica y atravesada por diques de pórfidos, aplitas y diabasas. Es posible que este rasgo morfológico, de la última etapa de la deformación hercínica, generase una cuenca endorreica liberada con el transcurrir de los años al labrar el agua una salida sobre estas rocas intrusivas, abriendo una vía de escape. El relieve actual es el de un valle en V, berroqueño, con laderas parcialmente recubiertas de coluviales, bolos de granito y canchales.

El macizo rocoso de la cerrada presenta una fracturación intensa, con contactos limpios, más sana y dura en la margen derecha que en la izquierda. A nivel del borde del estribo izquierdo existe, en dirección paralela al cauce, una fractura con granitos milonitizados y alterados. El RQD de los testigos de los sondeos de reconocimiento fue del orden del 60 al 80% y la permeabilidad en general fue muy baja, sin sobrepasar valores de 1,5 UL.

La presa es de gravedad de planta curva, de 41 m de altura, 265 m de longitud de coronación, taludes

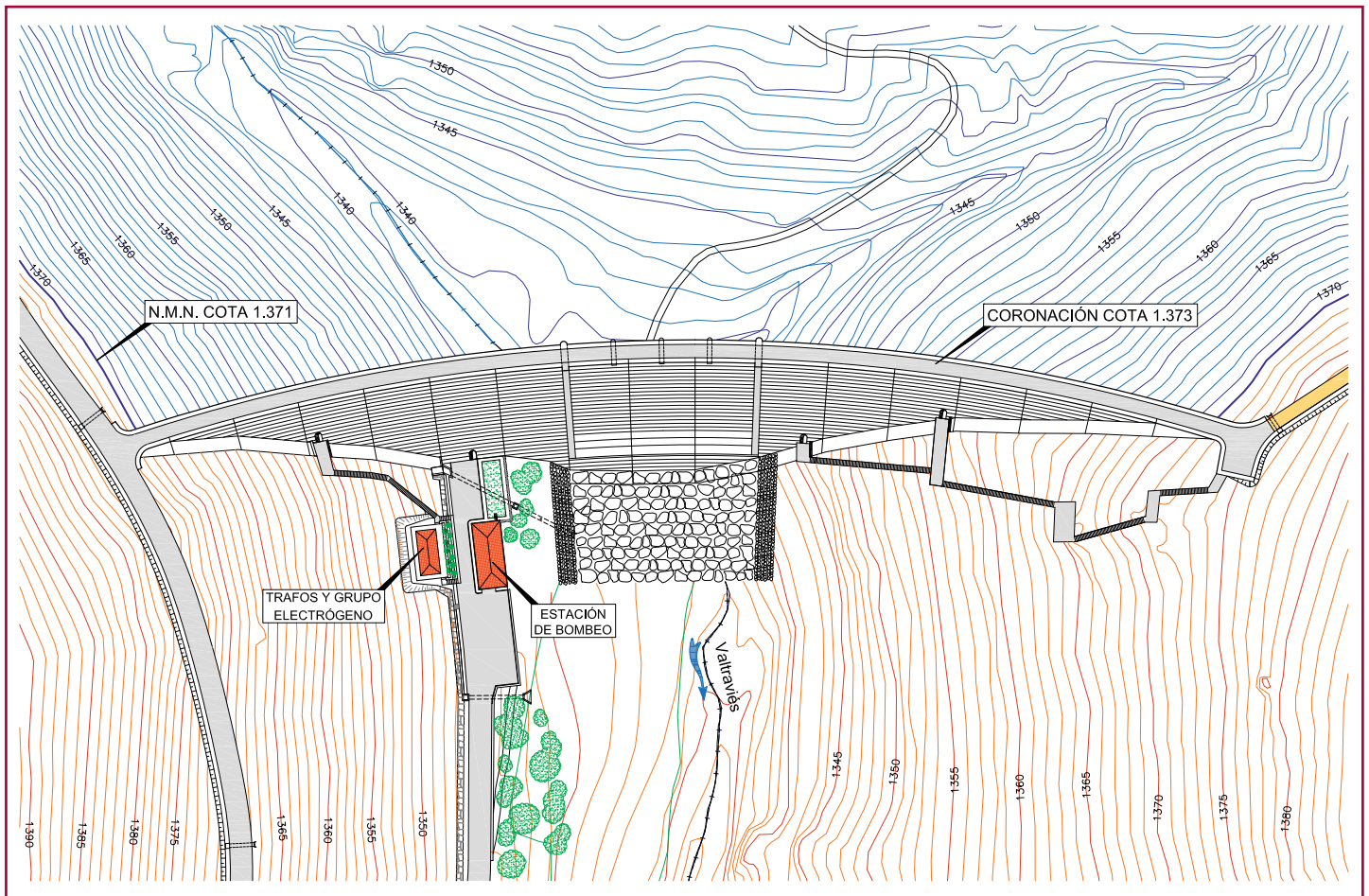


Fig. 1. Planta general.

vertical aguas arriba y 0,80/1 aguas abajo, NMN a la cota 1.371, vértice a la 1.371,50 y coronación a la 1.373. La directriz del vértice describe un arco circular de 400 m de radio.

Otras características técnicas del proyecto, y de la construcción de la presa son las siguientes:

- El hormigón se ha puesto en obra con cintas. La planta estaba situada del lado de aguas arriba. El árido se ha obtenido por machaqueo de los granitos de la mesa leucogranítica del lado del vaso, y en la dosificación se le ha añadido una arena fina de aportación. El tamaño máximo del árido se fijó en 80 mm. El hormigón colocado en el contacto de los encofrados del paramento de aguas arriba y de aguas abajo de los bloques se fabricó sin el árido 40-80. Se ha utilizado un cemento del tipo II/B-P/32,5 N con dosificación de 210 kg/m³, y se le ha exigido una resistencia de 20 MPa a 90 días. A los hormigones se les añadió plastificante, y la con-

sistencia estuvo en el entorno de cono de Abrams 0-1. El volumen total del hormigón de la presa es de unos 90.000 m³.

- Los bloques de la presa son de 15 m de ancho, medidos sobre la directriz del vértice. Todas las tongadas son de 2 m de altura, ejecutadas con 4 subtongadas de 0,50 m de espesor. Se vibró con tractor. Dispone de 2 niveles de galerías horizontales, conectadas por la galería perimetral, y dos accesos en cada margen.
- El aliviadero es de labio fijo con 4 vanos de 9,75 m, dispuesto sobre los 3 bloques centrales de la presa. El vertido se evacua al cauce mediante trampolín. El calado a NAP es de 1,10 m (caudal de diseño 100 m³/s y a NAE de 1,60 m (caudal de diseño 160 m³/s).
- Los desagües de fondo son de 600 mm de diámetro y el cierre se realiza con una válvula de compuerta tipo Bureau y una válvula de regulación tipo Howell-Bunger.

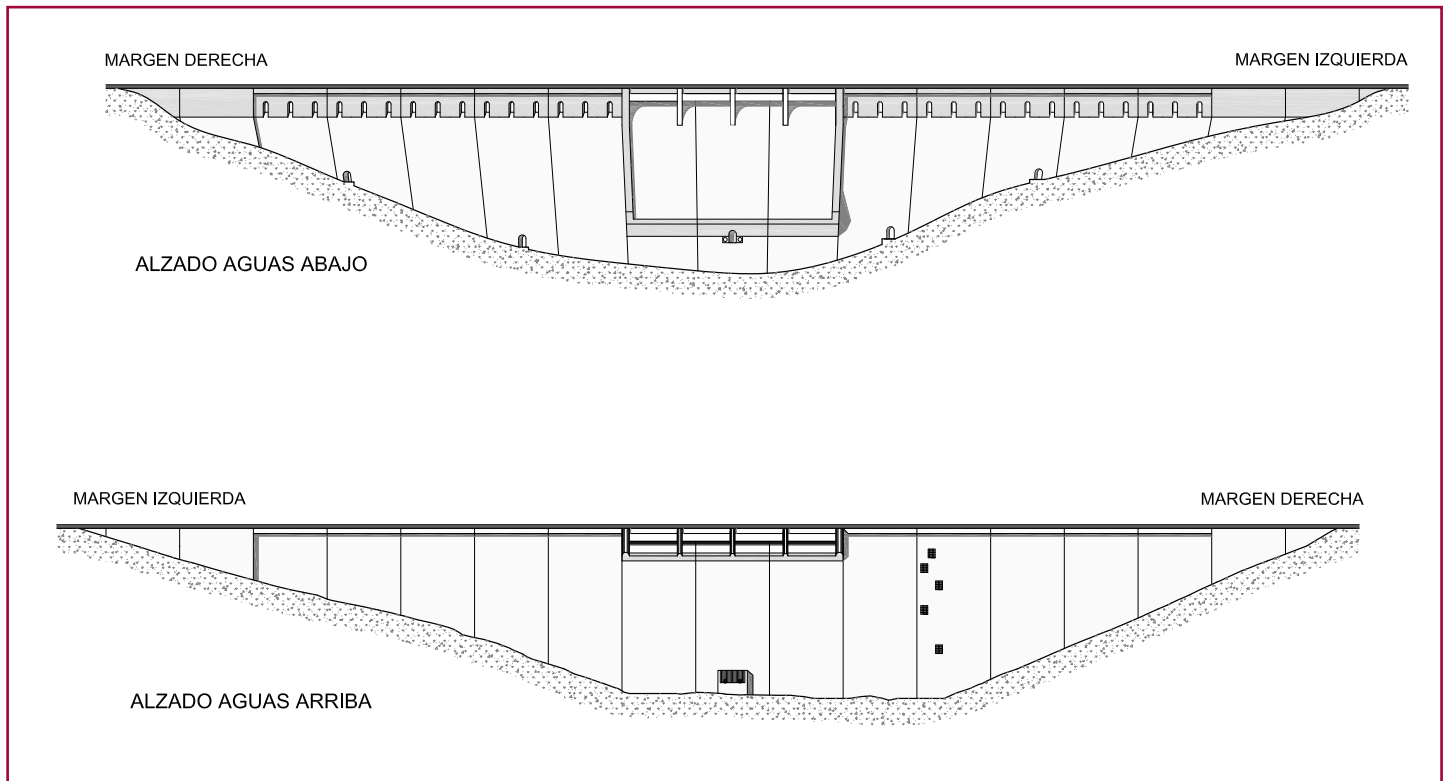
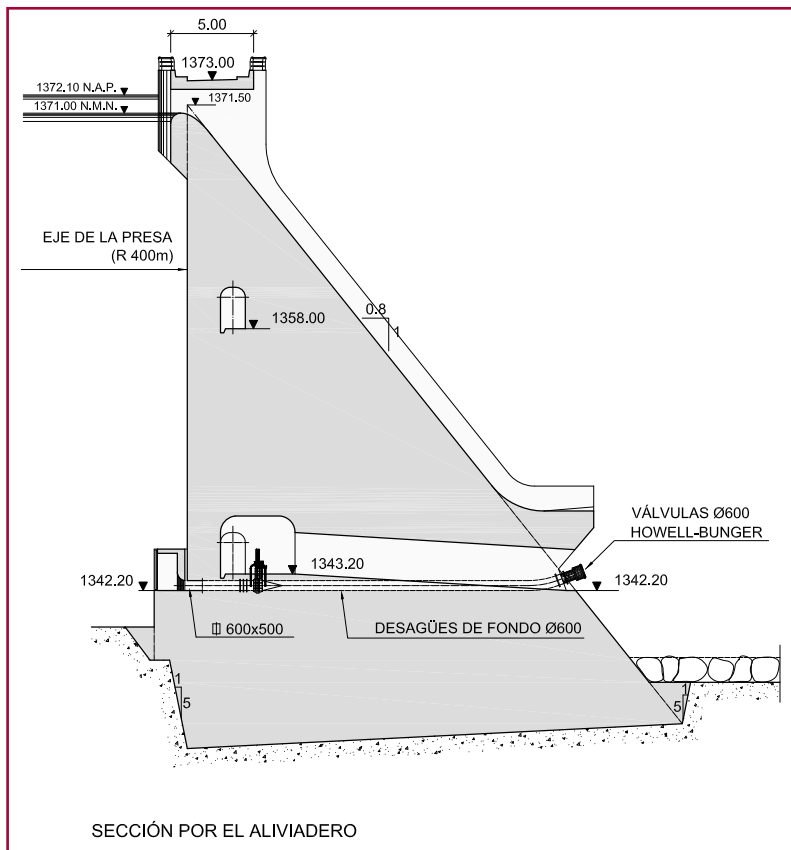


Fig. 2. Alzados, abajo Fig. 3. Sección por el aliviadero.



- Adosadas al paramento de la presa se disponen a distintas alturas 5 tomas de abastecimiento de 500 mm de diámetro, cuyo control se realiza mediante sendas válvulas de mariposa, instaladas en las cámaras habilitadas para ello en el interior de la red de galerías.

En el diseño de esta presa se introdujeron una serie de pequeños detalles constructivos, que siendo porcentualmente de bajo costo, inciden muy favorablemente sobre la seguridad, sobre la funcionalidad de la explotación, y sobre la estética de la obra. El objetivo de este artículo es resaltar estos pequeños, pero a la vez importantes, detalles del diseño.

2. La curvatura de la presa

Los taludes dados a los paramentos de la sección tipo de esta presa son suficientes para garantizar la estabilidad a deslizamiento de los bloques. La curvatura en planta supone una mejora adicional de la seguridad y, dada la simetría de la cerrada, favorece la estética global del diseño. Hay que resaltar que una curvatura tenue, como la dada a esta presa, apenas



Fig. 4. Vista general de la presa desde el estribo izquierdo.

si incrementa el volumen de hormigón y las dificultades constructivas que añade son mínimas.

La flecha de la directriz del vértice para la totalidad del bloque ($L = 15 \text{ m}$) para $R = 400 \text{ m}$, es de 7 cm . Si se dispone el encofrado recto en todo el paramento del bloque esta flecha prácticamente no se aprecia, ni tampoco el quiebro de $2,15^\circ$ que se produce con el bloque adyacente. Por lo tanto no es imprescindible girar los paneles del encofrado para adaptarse a la directriz del arco. Si se girasen los paneles de 5 m del encofrado, la flecha se reduce a 8 mm y el quiebro a $0,72^\circ$, valores que resultan totalmente imperceptibles.

La diferencia entre la longitud del arco y la de la cuerda no es significativa. En esta presa el desarrollo del arco es de 265 m , mientras que la cuerda es de $260,2 \text{ m}$, por lo que el incremento de volumen de hormigón que produce el diseño de planta curva es del orden del $1,5\%$.

Una curvatura suave de la presa es por lo tanto recomendable frente al diseño de planta recta, siempre que las formas topográficas de la cerrada sean favorables y la geología lo permita. Esta curvatura mejora claramente la seguridad estructural, realza la estética de la presa, y no añade dificultad alguna al proceso constructivo.

3. La estética de la cuña de coronación

Las ménsulas de la coronación tienen un cometido estético y funcional muy importante, por lo que se disponen en todas las presas. La línea de sombra que arrojan sobre el paramento rompe la monotonía del muro de hormigón. Además las ménsulas permiten dar mayor anchura a la calzada y la del lado de aguas arriba actúa eficazmente como botaolas. También es habitual, en todo buen diseño del área de corona-



Fig. 5. Detalle de la coronación y del aliviadero vistos desde aguas abajo.

ción, que estas ménsulas dispongan de pequeños pretilos sobre los que se asienta la barandilla, los cuales aumentan el ancho de la banda horizontal de la ménsula, evitando el efecto antiestético que producen los espesores de los elementos estructurales de la presa cuando son excesivamente delgados (esto también es extensible a los cajeros y a las pilas del aliviadero).

Las hornacinas de la presa de Las Navas del Marqués son un elemento decorativo de bajo costo (el adorno queda embutido en el hormigón) que dan un toque de singularidad al diseño. En las presas modernas se echan a veces en falta los adornos ornamentales de las presas antiguas, en las que el ingeniero siempre daba un toque personal al diseño de la imposta o a la albardilla del pretil.

Respecto a estos elementos decorativos dispuestos bajo la ménsula de coronación, del lado de aguas abajo, hay que tener presente lo siguiente:

- Los elementos decorativos huecograbados son muy fáciles de construir y su costo es mínimo (lo que vale el molde que se adosa por la cara interior del encofrado). El diseño debe permitir que este molde se extraiga fácilmente.
- Los elementos decorativos repetitivos tienen un costo reducido, ya que el encofrado especial que se hace ex profeso para ello tendrá muchas puestas y se amortiza en la obra.

4. Las islas artificiales del interior del embalse

La topografía de los grandes embalses deja islas naturales que mejoran la estética del paisaje y son además enclaves aislados que crean el hábitat idóneo para el desarrollo de determinadas especies de la fauna. Sin embargo en los embalses más pequeños no suelen existir islas a menos que se construyan

Fig. 6. Vista general de la coronación.



artificialmente, lo cual es una práctica recomendable.

En el embalse de Las Navas del Marqués se han construido dos islas artificiales, utilizando los desechos de excavación del cimiento de la presa y los desechos de la cantera de áridos, colocados adecuadamente y arropados con un rip-rap para proteger los taludes de la acción de las olas, a los que se les ha añadido una cubierta de tierra vegetal y la plantación de arbustos y arbolado autóctono.

El costo de estas islas es reducido, ya que son el vertedero de los residuos de las excavaciones, junto con los de la cantera y los de la planta de clasificación de los áridos, correctamente colocados. Aparte de su función como vertedero, es innegable su alto valor ornamental sobre el paisaje del embalse y su efecto ambiental favorable al convertirse en refugio para las aves, y también para los peces y anfibios que se cobijan en los huecos de la escollera del rip-rap de protección de los taludes.

5. Accesibilidad a las válvulas Howell-Bunger

Se ha construido una galería transversal que comunica la cámara de válvulas de los desagües de fondo con el exterior, llegando hasta la base del tram-

polín del aliviadero en donde están instaladas las válvulas Howell-Bunger. Por esta galería discurren los tubos del sistema oleohidráulico de accionamiento.

El diseño permite acceder cómodamente hasta las válvulas y a todo el recorrido de los tubos del sistema hidráulico de accionamiento, lo que facilita las labores de mantenimiento que ha de llevar a cabo el personal de explotación.

6. Detalles constructivos de la coronación

En primer lugar se llama la atención sobre el drenaje de las aguas pluviales, que ha de hacerse siempre hacia el embalse para evitar el chorreo sobre el paramento de aguas abajo que lo mancha y afea. Hay que tener presente que la calzada de coronación no es una autopista. El paso de vehículos debe estar restringido, y en todo caso debe circularse despacio, por lo que el peralte en el concepto aplicado en carreteras no es imprescindible aplicarlo en este caso. La pendiente transversal de la calzada de coronación debe darse hacia aguas arriba, para que el drenaje sea lo más directo y simple posible, evitando la colocación de cazoletas por el borde de aguas abajo y el entubamiento del drenaje dentro de la masa del hormigón para reconducir el agua hacia el la-

do opuesto y verterla sobre el embalse (lo que suele dar lugar durante la explotación a atascos de los conductos).

Otro de los detalles constructivos destacables de la coronación de la presa de Las Navas del Marqués es la robustez y la perfección de las alineaciones de la barandilla. Para los lugareños es uno de los mayores indicadores de calidad de la obra.

Anteriormente se ha comentado el efecto estético favorable que tiene el pequeño pretil que acompaña a las aceras, al dar la imagen de más espesor de las ménsulas cuando se contempla el alzado de la presa. También este pretil de baja altura, visto desde coronación, da sensación de recogimiento y de seguridad para los transeúntes.

El remate de las pilas del aliviadero a escuadra, por el lado de aguas abajo, queda en consonancia con las formas de los cajeros y de los estribos, y favorece la aireación de la lámina de agua en vertidos con calados pequeños como es el caso.

En los ensanches de los estribos, los muretes de acompañamiento se han realizado con mampostería de granito. Durante la ejecución de la obra se ha tenido a una pequeña cuadrilla de especialistas mamposteros que se ha ocupado de ejecutar todos los muros de piedra de la obra: las fachadas de la central de bombeo de pie de presa, las del centro de transformación, los muros de los estribos de coronación y los de acompañamiento del camino de servicio. Ello ha permitido conseguir una excelente calidad en los acabados.

7. Detalles constructivos de las galerías

La sección tipo de las galerías de la presa de Las Navas del Marqués no remata en la clave con un arco de medio punto, como suele hacerse, sino que ésta se ha construido con un arco rebajado con dos radios de 0,50 m más un tramo central plano de otros 0,50 m, lo cual es una innovación respecto al diseño habitual que le da una cierta singularidad a la sección de las galerías de esta presa.

Otro detalle destacable es la disposición de pasamanos de acero inoxidable en los tramos de escalera de la galería perimetral. Ello da evidentemente un toque de calidad a los elementos accesorios de la presa, y son por añadidura seguros y de bajo mantenimiento. La curvatura de estos pasamanos se ha cui-



Fig. 7. Vista de la galería perimetral.

do especialmente, de manera que la perfección del trazado anule, en la percepción visual, a los pequeños defectos que pueda haber en la alineación de los módulos de la galería.

Con respecto a la alineación, de determinados elementos que se disponen a posteriori, se llama de nuevo la atención para señalar la importancia que ello tiene en la instalación de las canalizaciones eléctricas del interior de las galerías, ejecutadas siempre al término de la obra.

También es importante disponer tomas de agua en las galerías, para la limpieza de los canalillos de drenaje. En las tomas de esta presa se dispusieron dos válvulas en serie que tuvieron que ser sustituidas, ya que el operario de mantenimiento dejó cerradas las dos y se reventaron por efecto de las heladas, por lo que se recomienda que si existe este riesgo y se coloca doble válvula se inmovilice la de aguas arriba para mantenerla siempre abierta.

El equipamiento de auscultación colocado en el interior de la red de galerías es muy simple: limnígrafo

Fig. 8. Edificio de la estación de bombeo, situado a pie de presa.



para seguimiento de la evolución del nivel del embalse, medidores del movimiento de las juntas transversales, aforo del drenaje profundo y control de las filtraciones totales de la presa.

8. Edificaciones auxiliares

El agua regulada en el embalse se transporta por bombeo al sistema de abastecimiento urbano. Con este fin se ha construido a pie de presa, en margen derecha, una estación de bombeo. El diseño de esta estación se ha hecho siguiendo la tónica de las edificaciones de la zona, con muros de mampostería de granito y cubierta de pizarra.

Frente a la estación de bombeo se ha construido un segundo edificio auxiliar que alberga el centro de transformación y los grupos electrógenos, con un diseño estructural parecido, aunque evidentemente difieren en las formas. Dispone el centro de transformación de tres cuartos independientes: uno para la entrada de la línea, protecciones y cuadros de medida en alta tensión; otro para el transformador; y el tercero para los cuadros de baja, un grupo electrógeno de instalación fija y otro móvil de menor potencia.

En ambas edificaciones se ha cuidado la estética de las formas y de los materiales, y siendo su costo insignificante, en comparación con el de la presa, constituyen otro de los indicadores importantes de calidad de la obra, tanto para los lugareños como para los foráneos.

9. Control de los accesos

Antiguamente las áreas de los embalses eran de libre acceso (que incluso en algunos de ellos se facilitaba construyendo caminos perimetrales de circunvalación), y muchas veces la coronación se aprovechaba para hacer pasar por ella una carretera. El tiempo ha ido cambiando esta concepción, y hoy en día es normal restringir los accesos a la totalidad o a determinadas partes del embalse, bien sea por motivos ambientales, sanitarios, o de seguridad.

En la presa de Las Navas del Marqués se ha cercado todo el recinto de servicios, situado en la margen derecha, junto al acceso al nivel inferior de las galerías. También se ha procedido a cercar totalmente el embalse, sin dejar pasos para pescadores como se ha hecho en otros.

10. Conclusión

La presa de Las Navas del Marqués es una estructura de dimensiones reducidas (sólo 41 m de altura) y de capacidad de almacenamiento moderada (2 hm³ de agua). Sin embargo, en la construcción de la misma se han cuidado muchos pequeños detalles que le dan el toque singular de innovación y de calidad. El objetivo del presente artículo se cumplirá con creces si alguna de las actuaciones descritas sirve como modelo a aplicar en otras presas en fase de diseño. ♦