

Recrecimiento del embalse de Montoro (Presa de Montoro III)

Montoro Dam heightening (Montoro III Dam)

Nicolás Gutiérrez Carmona. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director de las Obras (AQUAVIR). ngutierrez@aquavir.com

David García del Valle. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Coordinador Asistencia Técnica (Intecsa - Inarsa). dgarcia@intecsa-inarsa.es

Resumen: La presa de Montoro III constituye una infraestructura fundamental para garantizar las necesidades crecientes de abastecimiento de agua debido fundamentalmente al importante desarrollo económico que se está produciendo en la comarca de Puertollano. Esta nueva presa se sitúa unos 50 m aguas abajo de la existente, tiene 60 m de una altura (20 m más que la actual) y 255 m de longitud de coronación creando un embalse de 102 hm³.

La solución diseñada para la presa de Montoro III es del tipo arco gravedad con aliviadero de superficie de labio fijo centrado en el cuerpo de presa y sistema de disipación de energía mediante trampolín y cuenco amortiguador.

Palabras Clave: Presa, Aliviadero, Modelo reducido, Embalse de Montoro, Valle de Alcudia, Temperatura hormigonado, Primer llenado

Abstract: The Montoro III dam is an essential infrastructure to guarantee the increasing needs of water supply owed fundamentally to the important economic development that is taking place in Puertollano's region. This new dam places approximately 50 m downstream from the existing one, has 60 m height (20 m more than the current one) and 255 m of crest length, creating a 102 hm³ reservoir. The solution designed for the Montoro III dam is an arch - gravity dam with an open spillway centred on the body of the dam and the energy dissipation system consist of a springboard and a stilling pool.

Keywords: Dam, Spillway, Reduce-scale model, Montoro reservoir, Alcudia Valley, Concrete temperature, Frst filling

1. Introducción (Necesidad de la obra)

1.1. Introducción

La Sociedad Estatal Aguas de la Cuenca del Guadalquivir, S.A. (AQUAVIR) de conformidad con el Convenio de Gestión Directa suscrito con el Ministerio de Medio Ambiente, tiene encomendada la realización de las obras de "Recrecimiento del Embalse de Montoro para la Mejora del Abastecimiento a Puertollano y su Comarca".

El Proyecto, realizado por la empresa TYPASA, fue aprobado por la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas del Ministerio de Medio Ambiente el 1 de agosto de 2003.

En enero de 2004 se licitaron la obras siendo adjudicadas en abril de dicho año a la UTE formada por PLODER S.A. y CONSTRUCCIONES ALPI, S.A.. El contrato

fue firmado en mayo de 2004 iniciándose las obras en dicho mes.

El presupuesto de la actuación es de 42.925.000 € distribuidos de la siguiente forma:

Proyecto: 465.000 €
Expropiaciones: 4.440.000 €
Ejecución de Obra: 35.165.000 €
Asistencias Técnicas: 2.600.000 €
Patrimonio Histórico Artístico: 255.000 €

El esquema financiero de la actuación es el siguiente:

65% AQUAVIR (mediante fondos FEDER)
15% Ayuntamiento de Puertollano (a través de la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha)
20% Repsol Petróleo, S.A.

Las obras tienen prevista su finalización en el primer semestre del año 2007

1.2. Necesidad de la actuación

La comarca de Puertollano presenta unas necesidades crecientes de abastecimiento de agua debido fundamentalmente al importante desarrollo económico que se está produciendo en esta zona. Las acciones de ahorro y recirculación que se han venido implantando, han permitido contrarrestar en parte el citado crecimiento de las necesidades, pero no son suficientes para garantizar el suministro de agua.

La continuidad del abastecimiento en una zona caracterizada por la irregularidad de los aportes por pluviosidad esta muy comprometida por la reducida capacidad de regulación proporcionada por la Presa de Montoro actualmente en servicio, construida por Repsol en los años 50 para atender exclusivamente sus necesidades. Esta circunstancia se hace más penosa en períodos extensos de reducción de precipitaciones que, como el transcurrido desde 1982-1995, podrían indicar unas expectativas futuras con tendencia a la disminución de los recursos hídricos.

De estos datos resulta un panorama que es necesario resolver, tanto por las repercusiones sociales en relación con la comarca, como por las económicas.

Una vez analizadas y sopesadas desde el punto de vista técnico-económico todas las posibles soluciones alternativas a este problema se llegó a la conclusión de que la solución óptima consiste en la ejecución de una nueva presa en la cerrada de la actual, unos 150 m aguas abajo, para obtener 102 Hm³ de capacidad de embalse, además de los 7 Hm³ actuales de Mesto y Tablillas.

El nuevo volumen embalsado permitirá un incremento de regulación suficiente para el abastecimiento urbano de una población de más de 60.000 hab. para garantizar el caudal ecológico del sistema y las necesidades de Repsol.

La solución adoptada permite el necesario respeto a los vigentes derechos concesionales de captación y explotación relativos al actual Embalse del Montoro y la reposición de aquellos servicios del actual sistema de suministro de agua a Puertollano y su zona que quedan afectados por la construcción de la nueva Presa, de manera que, tras la terminación y funcionamiento de esta última, el referido sistema de

abastecimiento de agua a Puertollano y su zona tenga un esquema similar al actual, incluido su actual régimen de explotación, en lo relativo a la captación y elevación de las aguas, por REPSOL PETRÓLEO, S.A., sin perjuicio de la explotación de la nueva Presa por parte de AQUAVIR.

2. Características de la cuenca, usos del embalse de Montoro y garantía de abastecimiento

Dentro de esta **cuenca** se ubican dos cauces fluviales fundamentales, por un lado el río Montoro, con una longitud de cauce de 32,8 Km; y por otro el río Tablillas, que constituye la corriente principal y que posee una longitud de 54,7 Km. Ambos se unen en el vaso del embalse de Montoro.

Las principales características de la cuenca son las siguientes:

Características fisiográficas de la cuenca del embalse de Montoro	
Área (Km ²)	557,48
Long. Cauce (Km)	54,69
Pendiente media (m/m)	0,00823
Diferencia de cotas (m)	450

En la figura 1 se recogen los **hidrogramas de avenida** para diferentes periodos de retorno obtenidos mediante la realización de un modelo HEC-HMS.

La demanda de agua se distribuye de la siguiente forma:

- La demanda de abastecimiento (población e industrial) es de 26,26 Hm³/año.
- La demanda ecológica es de 2 Hm³/año, de acuerdo con el Plan Hidrológico del Guadalquivir.

El **estudio de regulación** se ha realizado mediante un simulación de la serie de aportaciones desde 1940 hasta 1999 y los resultados obtenidos muestran que las garantías obtenidas empleando el criterio tipo ley 10/1992, se sitúan para la situación actual, entorno al 30% para ambas demandas, mientras que en la situación futura, se mejora ostensiblemente la garantía, alcanzando valores por encima del 80% para un volumen de embalse de 100 Hm³

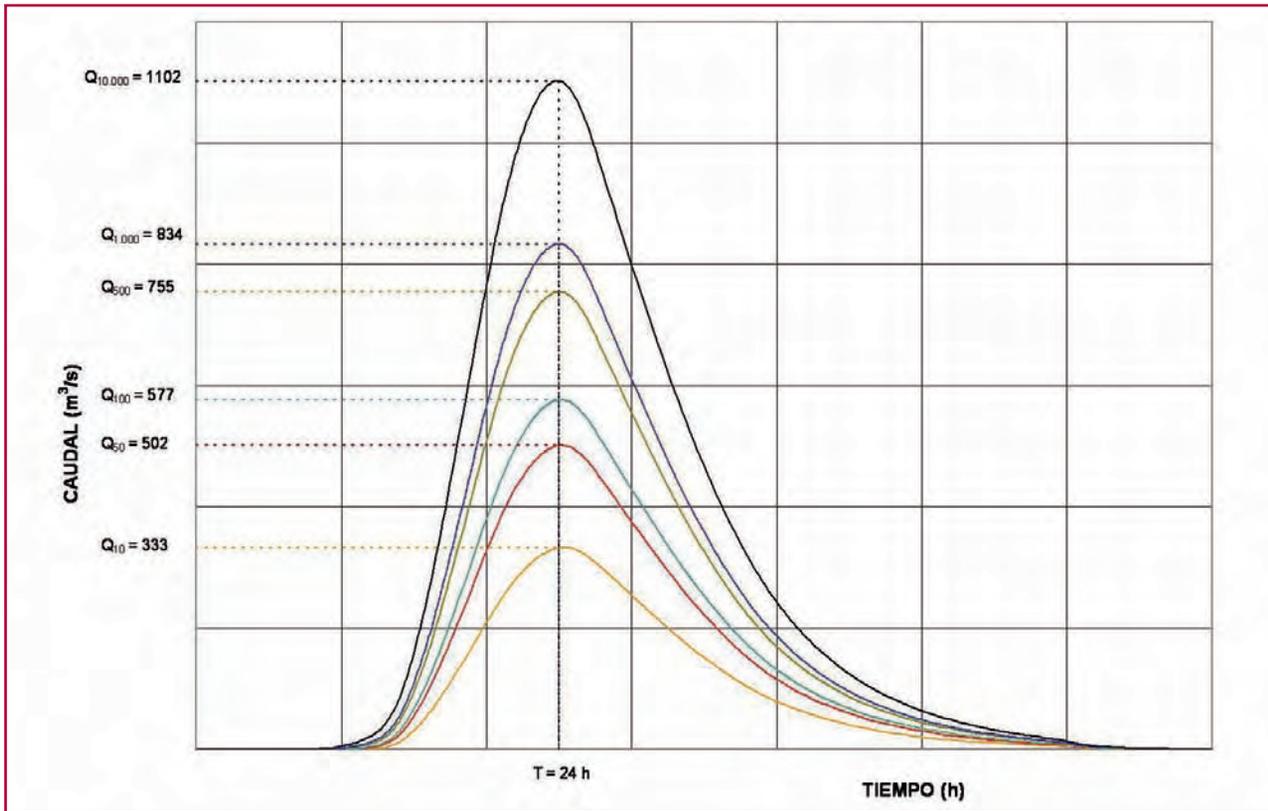


Fig. 1.

3. Descripción de las obras

Las principales obras que integran el Proyecto son las siguientes:

- Cuerpo de presa de hormigón convencional, tipo arco - gravedad.
- Aliviadero de labio fijo, incorporado al cuerpo de presa en los bloques 0, 1 y 2 (centrales), con trampolín de lanzamiento
- Desagües de fondo, alojados en el bloque cero (0), bajo el trampolín de lanzamiento.
- Tomas de agua para el control de bombeo situadas en el bloque 5. (margen izquierda)
- Estación de bombeo situada aguas abajo de la nueva presa en su margen izquierda.
- Tuberías de impulsión (d 800 mm y d 600 mm) desde la estación de bombeo hasta la almenara de conexión con las conducciones existentes.
- Obras complementarias
 - Reposición de la carretera CR-501 en la margen izquierda del embalse.
 - Reposición del camino en cola del embalse de Montoro.

- Reposición de líneas eléctricas y de comunicaciones.
- Actuaciones en presas existentes.

3.1. Cuerpo de presa

El cuerpo de presa es de hormigón, de tipo arco de gravedad con ángulo central de 90° y radio 162,59 m. siendo la longitud del arco de coronación de 255,40 m.

La sección transversal tipo es trapezoidal con vértice a la cota 578,33, el talud del paramento de agua es igual a 0,4 (H): 1,0(V) y el paramento de agua arriba vertical.

La cota de cimentación en la zona central es la 513,00 y la cota de coronación la 571,30 resultando una altura de presa sobre cimientos de 58,30 m.

La anchura de coronación es de 8,00 m, constando de calzada de 6,00 m y aceras de 1,00 m cada una, con barandilla metálica de protección a ambos lados.

El alzado de la presa se divide en bloques de hormigón de quince (15) metros de anchura, salvo en los estribos en que la longitud aumenta hasta 24 m, medidos en el eje de coronación.



Fig. 4. Fotografía de la presa durante su construcción.

máximas de valores $7,2 \text{ kg/cm}^2$ y compresiones máximas verticales de $45,4 \text{ kg/cm}^2$.

Por último, cabe señalar que en el interior de la presa se alojan tres galerías longitudinales denominadas galería superior, galería intermedia y galería perimetral, teniendo como longitudes respectivamente doscientos veinticinco metros (225 m), ciento cincuenta y cinco metros (155 m) y doscientos noventa y seis metros (296 m). De dichas galerías longitudinales parten seis galerías transversales de acceso.

3.2. Aliviadero

En los bloques centrales (0,1 y 2) se emplaza el aliviadero, que es de labio fijo y cuya cota de vertedero es la 565,75.

El vertedero tiene una longitud de cincuenta y un metros (51 m) comprendidos en cuatro vanos iguales de once metros (11 m) de longitud, separados por pilas de dos metros treinta y tres centímetros (2,33 cm) de anchura.

La cresta del vertedero queda situada a 1,04 m del paramento vertical de aguas arriba. En esa línea

se fija el origen de coordenadas del perfil de vertido Creager.

Los estribos y pilas constituirán los apoyos que reciben las vigas constituyentes del puente losa.

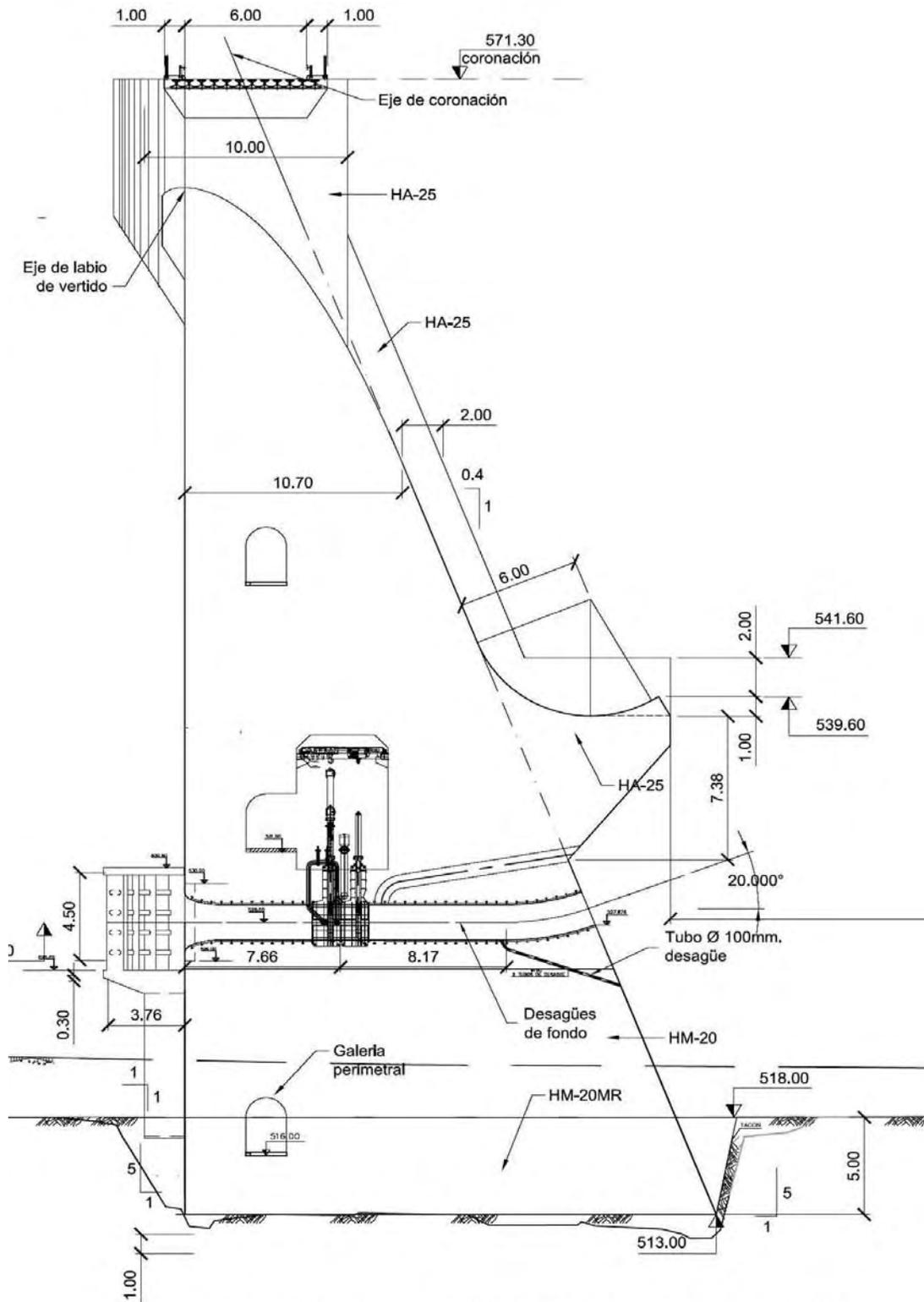
El puente losa sobre el aliviadero es prefabricado, a base de vigas dispuestas formando un tablero compacto.

El canal de descarga o rápida del aliviadero lo constituye el propio paramento de aguas abajo el cual enlaza con el perfil del vertedero. La rápida queda limitada por dos cajeros de un metro ochenta y seis centímetros de altura (1,86 m) medidos en la perpendicular al paramento, los cuales arrancan de los estribos del aliviadero.

La estructura terminal del aliviadero está constituida por un trampolín de radio 6 m y $33,33^\circ$ de ángulo con la horizontal que vierte a un colchón de agua de 6 m de profundidad cuyo espejo de agua se sitúa a la cota 521 para la situación habitual sin avenidas.

El trampolín es dentado, con once (11) dientes de un metro (1 m) de altura y tres metros noventa y dos centímetros de longitud (3,92 m).

Fig. 5. Sección Tipo por desagüe de fondo de la presa de Montoro III.



SECCION TIPO POR ALIVIADERO. (DESAGÜES DE FONDO)
ESCALA 1:250

3.3. Desagüe de fondo

Los desagües de fondo de la presa están formados por dos conductos rectangulares de 1,2 x 1,8 m, situados en el interior bloque cero (0) de la presa.

En su origen la solera de los conductos se ubica en la cota quinientos veintiocho (528). Los conductos tienen su eje perpendicular al paramento de agua arriba y cruzan la presa hasta salir por el de aguas abajo.

A su vez la embocadura está protegida por una reja de hormigón, adosada al paramento de agua arriba.

Por último, cabe señalar que los conductos están dotados de dos compuertas Bureau de 1,2 x 1,8 m en cada conducto y que los conductos están blindados con chapa de 12 mm de diámetro y están dotados de un conducto de aireación de 0,7 m de diámetro.

3.4. Tomas de agua

Las tomas se alojan en el bloque 5 de la presa estando situadas a tres niveles diferentes y unidas por un tubo de 1,00 m de diámetro de acero.

Dichas tomas están situadas en las cotas 558,60, 543,80 y 529,00 estando regulada su apertura mediante sendas válvulas de mariposa de un metro (1 m) de diámetro.

La embocadura de dichas tomas está protegida por sus correspondientes rejillas.

La tubería de la toma, una vez salva los tres niveles de la misma, alcanza el paramento de aguas abajo y girando 90° en horizontal se introduce en el terreno hasta llegar a la estación de bombeo.

Por último y con objeto de poder suministrar el caudal ecológico se sitúa en el tramo final y antes de alcanzar la estación de bombeo una derivación d 250 mm dotada de una válvula Howell-Bunger, que vierta al colchón de agua.

3.5. Sistema de auscultación

El sistema de auscultación previsto está definido teniendo en cuenta; la simetría geométrica de la presa arco de gravedad diseñada, el cálculo tenso-deformacional realizado, del conjunto presa-cimiento; características estructurales, geotécnicas e hidrogeológicas de la cimentación, y las variables medioambientales, así como las recomendaciones de la guía técnica de Seguridad de Presas "Auscultación de las presas y sus cimientos".

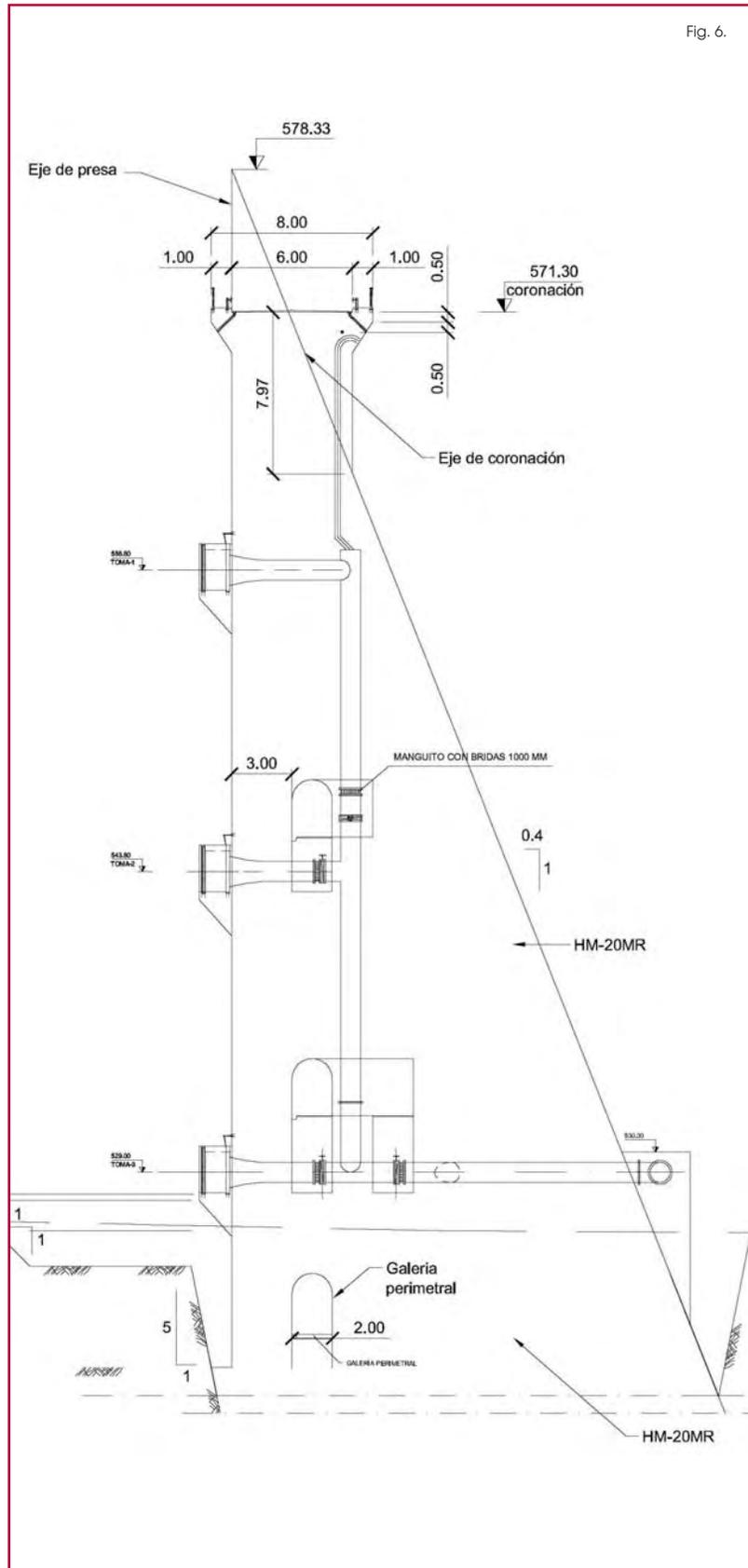


Fig. 6.

Las variables de control del sistema de auscultación diseñado son los siguientes:

- Variables de control externo
 - Meteorológicas y ambientales
 - Hidráulicas (carga hidrostática)
- Variables de control interno
 - Hidráulicas (filtraciones, subpresión y nivel freático)
 - Deformacionales (estructura y cimiento)
 - Térmicas
 - Tensionales
 - Volumétricas

Toda la información suministrada por la instrumentación instalada será integrada en un Sistema Automático de Auscultación integrada por sistemas abiertos que, apoyada sobre la instalación de un Bus de Campo bajo Estándar PROFIBUS-DP, permite asegurar su fiabilidad y flexibilidad.

3.6. Estación de bombeo e impulsión

Se está construyendo una nueva Estación de Bombeo y su correspondiente conducción de impulsión que sustituye a la actual existente en el Embalse de Montoro la cual quedará inundada debido al Recreimiento de éste.

El caudal máximo a bombear será de 1,5 m³/s, lo que supone bombear al año 47,25 Hm³, es decir el 47,25% de la capacidad del embalse futuro de Montoro.

Así pues, las bombas seleccionadas son bombas horizontales de cámara partida de caudal 1800-2700 m³/h y altura manométrica 147-110 m.c.a., con motor de 1.100 Kw de potencia y 1.480 r.p.m. de velocidad. La tensión es de 660 V y la frecuencia 50 Hz.

Se ha previsto dotar, al menos a dos de las tres bombas, con variador de frecuencia, con el fin de optimizar la instalación proyectada, dadas las posibles variables a las que está sometida. Por un lado la situación del embalse (Embalse lleno o vacío) y por otro, la posibilidad de bombear por cada una de las dos conducciones de impulsión ($\Delta \text{E} = 800 \text{ mm}$ $\text{D} \text{Q}_{\text{max}} = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ y $\Delta \text{E} = 600 \text{ mm}$ $\text{D} \text{Q}_{\text{max}} = 0,706 \text{ m}^3/\text{s}$) independientemente.

Estos convertidores de frecuencia modularán el funcionamiento de las bombas, para adaptarlas a las diferentes situaciones de funcionamiento, de manera

que, tanto el rendimiento como el gasto de explotación, sean óptimos.

4. Geología de la cerrada y del vaso - Tratamientos del terreno

4.1. Condiciones de cimentación - tratamientos realizados

El substrato litológico, aflorante en la mayor parte de la cerrada, está constituido por alternancias de grauwackas y pizarras precámbricas.

En superficie, presentan un grado de meteorización variable, en función de su posición topográfica: En el fondo del valle, bajo rellenos que alcanzan un espesor máximo del orden de 3 m aparece la roca sana (grado II). En la margen derecha, existe una capa de roca algo alterada (grado III), con espesores variables de 3 a 7 metros (espesor medio del orden de 5 metros). En la margen izquierda, el espesor de roca meteorizada (grado III) alcanza los 15 a 20 m de espesor. Se localiza además, una zona de intensa meteorización (grado IV), detectada en los sondeos. Esta zona estaba prevista que fuera totalmente eliminada en las excavaciones realizadas para la cimentación de la presa.

Durante la fase de construcción se elaboró un procedimiento para definir la cota de cimentación de la presa, que establecía un criterio que tenía en cuenta, por un lado el RQD, deducido de los sondeos y por otro la clasificación geomecánica de la roca (según la clasificación de Bieniawski) que tiene en cuenta factores como la resistencia de la roca, grado de fracturación, estado de discontinuidad y presión de agua. Basándose en estos criterios se dibujó un nuevo perfil geotécnico.

La cota de cimentación deducida de este procedimiento fija como valor mínimo el empotramiento de 2 m en el nivel de roca RMR > 60, resultando así las siguientes profundidades de cimentación:

- Fondo del Valle: Profundidad mínima 5 m por debajo del contacto relleno - roca.
- Ladera derecha: Profundidad entre 6 m en la zona alta de la ladera y 13 m en la zona media e inferior por efecto de regularización.
- Ladera izquierda: Profundidad entre 8 m en la zona inferior y alta de la ladera y 12 m en la zona media de la ladera.



Fig. 7. Detalle de cimentación de la presa con hormigón de regularización .
Cintas transportadores de puesta en obra del hormigón.

Durante la construcción de la presa se prestó especial cuidado a la preparación que debe realizarse de la superficie de apoyo de la cimentación para asegurar que el contacto sea impermeable y que la roca expuesta tenga la capacidad de carga requerida.

Por ello se llevó a cabo una cuidadosa investigación de la superficie de cimentación, siguiendo los siguientes pasos, una vez expuesta toda la superficie sobre la que se apoyará la presa:

- Una vez alcanzada la superficie de cimentación que se considere, se limpiará esta con agua a presión para eliminar todos los fragmentos sueltos, alterados o poco enraizados en la roca.

- Sobre esta superficie se replantearon y marcaron los límites de los bloques de cimentación previstos. Se hizo un levantamiento taquimétrico de dicha superficie, que se integró en una planta general de la superficie de cimentación.
- En cada bloque se realizó un levantamiento de todas las juntas y discontinuidades y superficies de falla, midiendo su orientación y buzamiento e indicando su continuidad, espaciado, abertura y relleno.
- Asimismo se clasificó de visu el macizo rocoso de la superficie de cimentación desde el punto de vista geotécnico, para garantizar que en toda la superficie tenga un valor de RMR de 60 ó superior, en caso de no alcanzarse este valor se consideró co-

mo zona a sanear y tratar para mejorar sus características geomecánicas.

- Se realizaron por cada bloque fotografías oblicuas desde los taludes desde aguas abajo y aguas arriba.
- En función de los accidentes detectados se reconsideró el saneo y tratamiento con inyecciones en estas zonas y puntos singulares previsto en Proyecto.
- Una vez definidos estos tratamientos y realizados en cada bloque, se inició con el hormigonado de la cimentación.

Para la aplicación de los procedimientos descritos se elaboró bloque a bloque unas fichas desde las que se reflejó toda la información de dicho procedimiento.

A la vista de las condiciones reales del terreno de cimentación y en función de los resultados de nuevos ensayos Lugeon realizados se consideraron innecesarias las inyecciones de consolidación generalizadas, pues la calidad del macizo rocoso era por sí misma "buena" o "muy buena".

Se localizaron las pequeñas fallas que discurren por algunos bloques de la cimentación ejecutándose un tratamiento superficial de las mismas una vez terminada y limpia la excavación.

No se observaron bloques o cuñas que pudieran presentar problemas de estabilidad ante los esfuerzos transmitidos por el conjunto presa - embalse.

El tratamiento ejecutado en las fallas consistió en un cajeo, de anchura fuera tres veces el espesor de la falla a cada lado de la misma y de profundidad tres veces el mismo ancho, rellenado con el mismo hormigón previsto en el contacto cimiento - presa y armado con un mallazo a lo largo de toda la falla.

A la vista de la excavación se ha detectado que dichos accidentes tenían escasa entidad en profundidad, ya que los mismos estaban con sus labios recristalizados y cerrados a una profundidad próxima a la cimentación.

Durante la fase de construcción y como es habitual, se planteó el seguimiento geológico - geotécnico de las excavaciones que incluía el levantamiento detallado y la caracterización geomecánica del terreno de cimentación.

Esta toma de datos se fue realizando a medida que se efectuaba la limpieza de la cimentación en cada uno de los bloques, donde puso de manifiesto

que existía una apreciable variación en cuanto a la calidad del macizo rocoso y a la resistencia del material, de unas zonas a otras.

Esto es, dentro de unas adecuadas y más que suficientes condiciones de resistencia y durabilidad del macizo rocoso a los largo de todo el área de cimentación, se aprecia una clara variación de las características que condicionan su resistencia y rigidez, entre uno y otro de los tres sectores diferenciados (margen izquierda, fondo de valle y margen derecha).

En consecuencia, se decidió llevar a cabo una campaña completaría que consistió en 5 nuevos sondeos donde se realizaron ensayos dilatométricos, de testificación sónica y se extrajeron muestras para su envío a laboratorio y cuyos resultados permitieron obtener un valor del módulo de deformación para cada zona. Mediante la realización de un nuevo cálculo estructural de la presa por elementos finitos pudo comprobarse que el comportamiento de la presa bajo las nuevas hipótesis de era igualmente satisfactorio.

De acuerdo con las pruebas de agua realizadas mediante los ensayos Lugeon, en los sondeos ejecutados, se deduce que la margen izquierda y la zona de cauce son de mayor permeabilidad que la margen derecha. En función de las unidades Lugeon que se obtuvieron en los ensayos realizados en fase de proyecto, se diseñó una pantalla de impermeabilización, cuya realización se lleva a cabo desde la galería perimetral.

La inclinación de la pantalla es de 10° hacia agua arriba respecto a la vertical, la profundidad máxima de la pantalla es de 40 m en zona de cauce y margen izquierda y una altura variable de 40 m a 20 en la margen derecha.

La separación de los taladros que conforman la pantalla es de 3,0 m. La ejecución de los taladros se está realizando a rotoperCUSión y se ha previsto un lavado previo a la inyección.

Las presiones de inyección se realizaron escalonadamente de acuerdo con la profundidad de terreno que se está tratando.

A la pantalla de inyección se ha asociado la de drenaje de la cimentación y se realiza también desde la galería perimetral.

Se ha definido mediante una red de taladros separados 3,00 m al tresbolillo de la correspondiente pantalla de impermeabilización y disponiéndolos verticales, con una longitud igual al 75% de la profundidad máxima de la pantalla de impermeabilización, si-

tuados lógicamente agua abajo y próxima a la misma.

4.2. Estabilidad de laderas del vaso

El substrato precámbrico aflora en la mayor parte de laderas afectadas por la zona inundable del nuevo embalse.

Existen algunos recubrimientos de suelos cuaternarios, generalmente de escasa entidad, consistentes en depósitos aluviales limitados al entorno de los cauces, retazos de terrazas en ambos márgenes de la cerrada de Mesto, y depósitos de suelos coluviales en pies de laderas y fondos de vaguadas y arroyos de la red hidrográfica secundaria. Los depósitos coluviales son generalmente de limitada extensión y espesores.

En algunas zonas, se observan acumulaciones de suelos coluviales de mayor extensión, y que podrían presentar asimismo espesores de cierta entidad. Estas zonas se localizan aguas arriba de la presa de Mesto, y en la cola del embalse de Montoro hacia la presa de Tablillas. Generalmente, estas zonas de suelos coluviales presentan pendientes muy suaves, localizadas en los bordes del embalse actual, por lo que su estabilidad es muy buena, y no parecen susceptibles de movimiento por la elevación de la zona saturada como consecuencia del llenado del nuevo embalse.

El único depósito coluvial de cierta entidad, con espesor superior, en algunas zonas, a 6 metros, y asociado a una pendiente media, es el situado en cola del embalse, en la margen derecha, inmediatamente aguas abajo de la presa de Tablillas, a gran distancia por tanto, de la nueva presa (7 Km).

Como conclusión, no se estiman problemas de entidad en la estabilidad de laderas del vaso.

4.3. Permeabilidad del vaso

Los materiales precámbricos que constituyen el substrato litológico en toda el área inundable del nuevo embalse, constituidos por alternancias de pizarras y grauwackas, pueden considerarse, en conjunto, como impermeables desde el punto de vista hidrogeológico.

En este tipo de materiales, la circulación de agua subterránea se ve limitada a los tramos más superficiales del macizo rocoso, donde aparece más descomprimido y con la fracturación abierta. Las zonas de falla, con intensa fracturación asociada, y generalmen-

te asociadas a zonas topográficamente más deprimidas (generalmente alineaciones de vaguadas), constituyen zonas preferentes de circulación de aguas.

Las fallas detectadas en el vaso, con alineaciones dominantes Norte-Sur a NNO-SSE, y alguna de un segundo sistema de rumbo NE-SO, son de pequeña entidad, con zona fracturada de pequeño espesor, por lo que su permeabilidad ha de ser asimismo reducida, y no conectan el embalse con otras cuencas hidrográficas.

En estas condiciones, la estanqueidad del vaso está asegurada, y no son previsibles problemas de permeabilidad.

5. Ensayo modelo reducido

Este estudio fue realizado por el Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos. La realización del ensayo la llevó a cabo el CEDEX. Para la realización del ensayo se proyectó un modelo reducido de la presa en el que se reproduce el aliviadero y los desagües de fondo a escala geométrica 1/40. Las fuerzas gravitatorias son las predominantes en los fenómenos analizados. Para asegurar la condición de semejanza de éstas se considera invariable el número de Froude. Asimismo se debe asegurar que el número de Reynolds sea suficientemente alto en el modelo en

Fig. 8. Modelo reducido en construcción realizado por el Centro de Estudios Hidrográficos.





Fig. 9. Vista desde aguas abajo del modelo reducido.

función del caudal a ensayar y que, por lo tanto, se pueda despreciar la influencia de la viscosidad. Esto garantiza la semejanza hidrodinámica para los caudales de ensayo.

Como consecuencia del estudio se realizaron las siguientes adaptaciones en las obras inicialmente proyectas:

- Modificación de la geometría de las pilas del aliviadero.
- Determinación de la curva de capacidad del aliviadero.
- Aumento de la longitud del cuenco amortiguador.
- Modificación del azud del cuenco amortiguador trasladándolo 50 m aguas abajo y proponiendo un azud de escollera en vez de hormigón.

Fig. 10. Modelo reducido vertiendo la Avenida de Proyecto.



- Proceder a la demolición de los estribos del azud existente para evitar perturbaciones en el flujo de salida.

6. Actuaciones ambientales

El Valle de Alcudia constituye una de las zonas adeshadas más extensas del país. Los usos del suelo corresponden a superficie agrícola, de pastos y superficie forestal.

En la zona de actuación confluyen varios espacios de interés natural:

- El Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) de Sierra Morena, que engloba áreas montañosas y los cauces de los ríos Montoro y Tablillas.
- Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) de Sierra Morena, que actualmente coincide con los límites del LIC.
- El Área Importante para las Aves (IBA) nº 207 del Valle y la Sierra de Alcudia.
- Monumento Natural de la Laguna de la Alberquilla, declarada mediante Decreto 211/1999, de 5 de octubre, de la región de Castilla-La Mancha. Se trata de una laguna de origen volcánico, la única con estas características situada en la parte alta de una sierra cuarcítica.

Se han identificado diversos hábitats de interés comunitario presentes en la zona:

- Encinares de *Quercus ilex* y *Quercus rotundifolia*.
- Dehesas perennifolias de *Quercus* spp.
- Galerías y matorrales ribereños termomediterráneos.

Así como hábitats de interés prioritario:

- Zonas subestépicas de gramíneas y anuales del Thero-Brachypodietea. Se trata en concreto de la asociación vegetal: *Poa bulbosae* - *Trifolietum subterranei*.

Además esta zona constituye el hábitat de varias especies de fauna:

- Galápago leproso está catalogada como de interés especial en el Catálogo Regional.

- Cigüeña negra, especie catalogada como en peligro de extinción tanto en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas como en el Catálogo Regional de Castilla-La Mancha.
- Nutria, catalogada de interés especial en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas y como vulnerable en el Catálogo Regional.
- Otras especies presentes en la comarca del Valle de Alcudia.

Como respuesta a estos impactos potenciales se contemplan las siguientes medidas correctoras en el estudio de impacto ambiental:

- Paralización del periodo de obras, en concreto las operaciones de desbroce y tala, en zona donde se ubica el nido de cigüeña negra. Se realizará entre los meses de febrero y junio, que coinciden con los periodos prenupcial y de cría de esta especie.
- Protección de Espacios Naturales, determinando como zonas de exclusión aquellas donde no está permitida la realización de obras y/o la ubicación de instalaciones auxiliares, préstamos y vertederos.
- Protección de Especies Protegidas de Fauna, en concreto para la cigüeña negra. Se realizó el traslado del nido existente en las inmediaciones de la lámina de agua del embalse actual que se verá inundado tras las obras. Todo ello entre los meses de septiembre y octubre y antes de la realización de las labores de desbroce y tala de la franja de vegetación que se inundará tras las obras.
- Transplante de encinas, será necesario transplantar 800 pies de encina de 15 cm de diámetro que actualmente se ubican en la franja de inundación producida por el recrecimiento de la presa. Esta operación se incluiría dentro del proyecto de restauración de las extracciones y se ha calculado para conseguir una densidad de 200 pies por hectárea
- Actuaciones arqueológicas, encaminadas a detectar posibles áreas de afección durante las obras.
- Integración paisajística, concretamente de la carretera CR-501, afectada por las obras, del camino de acceso a la estación de bombeo y del préstamo-vertedero.
- Seguimiento ecológico, mediante un estudio que determine la existencia de poblaciones o individuos de *Armeria genesiana* y *Euphorbia paniculata*.
- Protección hidrológica y del ecosistema acuático, mediante la construcción de una balsa de decan-

tación de las aguas procedentes de la fabricación de morteros y hormigones.

- Caudal ecológico, que garantice los caudales necesarios en épocas de freza y alevinaje de las especies identificadas, así como favorecer la presencia de nutria.
- Reconformación de los terrenos ocupados por vertederos y áreas de préstamo, mediante restitución de usos del suelo, integración paisajística, control de procesos erosivos y restitución de los biotopos.
- Mejora del hábitat del río Montoro, coincidiendo con los meses de mayor caudal del río y posteriormente a la realización de las obras. Se realizará el rastrillado del río Montoro para remover los sedimentos. De esta manera se persigue habilitar la zona como potencial frezadero del barbo gitano.

7. Procedimientos constructivos

7.1. Desvío del río

Con el fin de evitar los posibles daños durante la ejecución de la obra motivados por posibles avenidas se deja la ejecución del hormigonado de una zona de la parte inferior del cuerpo de presa formándose dos orificios que permiten evacuar determinados caudales de avenida sin que dichos caudales se viertan por la parte superior de la presa en ejecución.

La sección de cada orificio es rectangular de 4,78 x 4 metros lo que permite desaguar el caudal correspondiente a la avenida de periodo de retorno de 500 años.

Obviamente a la finalización de toda la infraestructura se procede al cierre del desvío del río.

También resultó imprescindible desviar la trayectoria de desagüe del aliviadero de la presa existente de forma que no incidiese directamente sobre la presa en ejecución, en caso que éste aliviase como consecuencia de alguna avenida.

7.2. Instalaciones para la fabricación de hormigón

El hormigón a emplear en la ejecución del cuerpo de presa se fabrica in-situ a pie de obra. La localización de estas instalaciones responde a la optimi-



Fig. 11. Vista de la planta de hormigonado y sistema de cintas para puesta en obra del hormigón.

zación de varios factores como proximidad a la presa, accesibilidad para su montaje y abastecimiento de materiales, espacio suficiente para la maniobrabilidad de los vehículos etc. Concretamente se ubican en la margen derecha entre la antigua y nueva presa de forma que se conjuga perfectamente el acceso que se realiza desde el estribo derecho de la presa existente y una buena proximidad a la nueva cerrada.

Las instalaciones constan de planta de fabricación de hormigón, compartimentos de acopio de áridos, depósito de agua, bascula de pesaje de vehículos pesados.

- Planta de hormigón:

Es de doble amasadora con una capacidad de producción de 120 m³/h.

Presenta integrados 6 silos de cemento con una capacidad de 100 toneladas cada uno, la dosificación se realiza por pesaje mediante sendas básculas de 2.000 Kg de capacidad.

En cuanto a la alimentación de los áridos se dispone de 5 tolvas en línea lo que permite emplear dicho número de fracciones, el pesado de los mismos se realiza por báscula con una posibilidad de pesada máxima de 7.500 Kg.

El sistema de dosificación de agua se realiza también por báscula.

Todo el sistema de alimentación, pesaje, se encuentra gobernado por un sistema informático que automatiza el proceso de fabricación.

- Acopio de áridos:

Al lado de la planta se encuentra la zona de acopio de áridos, se trata de unos compartimentos independientes para cada fracción separados por cerramiento de bloques y protegidos por una cubierta de las inclemencias meteorológicas sobre todo lluvia y radiación solar que provocaría en periodo estival una temperatura de los áridos demasiado elevada para su posterior empleo en fabricación de hormigón.

- Depósito de agua:

Situado unos 40 metros por encima de la planta, se alimenta del agua del embalse mediante un bombeo, independizando y regulando el abastecimiento de planta de dicho bombeo. Tiene una capacidad de 120 m³.

- Bascula de pesaje de camiones:

Permite verificar las cantidades de cemento y de áridos que llegan a la obra.

7.3. Instalaciones para el transporte y puesta en obra del hormigón

El transporte del hormigón desde la planta hasta las distintas partes del cuerpo de presa se realiza utilizando distintos medios de manera combinada, lo que supone básicamente tres procedimientos:

- 1) Mediante el método convencional de empleo de grúa torre y cubilote, con la opción de carga directamente en la cinta de salida de la planta (grúa margen derecha) o desde camión previamente cargado en la planta, caso de grúa mas alejada.
- 2) Mediante el empleo de cintas portátiles transportadoras (una o varias concadenadas) junto con una cinta pivotante dotada de movilidad distribuidora al final del sistema.

- 3) Mediante el empleo de una cinta extensible y pivotante sobre camión, que permite gran versatilidad tanto en su posicionamiento de trabajo como en abarcar un amplio abanico de distancias a la vez que distribuye el hormigón.

En estos dos últimos procedimientos la alimentación también se realiza bien directamente desde la planta o por camiones previamente cargados en la misma cuando no es posible disponer el tendido de cintas desde la planta hasta la zona de hormigonado por ser excesiva la distancia a cubrir. Siendo necesario transportar el hormigón primero en camiones hasta una zona en la que ya continua su transporte por medio de los equipos de cinta antes descritos. La distribución del hormigón en la tongada dentro de los distintos bloques en que se subdivide la presa se realiza a través de los propios medios de transporte y se procede a dotarlo de compacidad mediante el empleo de vibradores instalados en sendas minixcavadoras.

7.4. Control de calidad de las aguas

Como en toda obra de esta importancia se realiza un control exhaustivo tanto de los materiales empleados como de la ejecución. Por su especial importancia en este tipo de obras haremos en este apartado especial hincapié en el control de temperaturas.

En una obra con un volumen de hormigón en masa tan considerable no solo se tiene en cuenta la influencia de las temperaturas ambientales extremas en el fraguado del hormigón y sus restricciones al hormigonado, sino las propias reacciones exotérmicas que se producen en su fraguado y las consecuencias físicas de esos efectos térmicos en volúmenes importantes de hormigonado como es el caso (gradiente térmico en la masa recién ejecutada, excesivas dilataciones, retracciones, etc).

La dosificación del hormigón ya tiene en cuenta este factor, siendo uno de los condicionantes el empleo de cementos de bajo calor de hidratación.

En condiciones ambientales frías se tienen en cuenta las limitaciones al hormigonado sancionadas por la experiencia.

En tiempo estival se ponen medios para limitar la temperatura de los componentes del hormigón (regaño de áridos, cubrición de los silos con toldos que eviten la radiación solar, refrigeración del agua de amasado, etc).

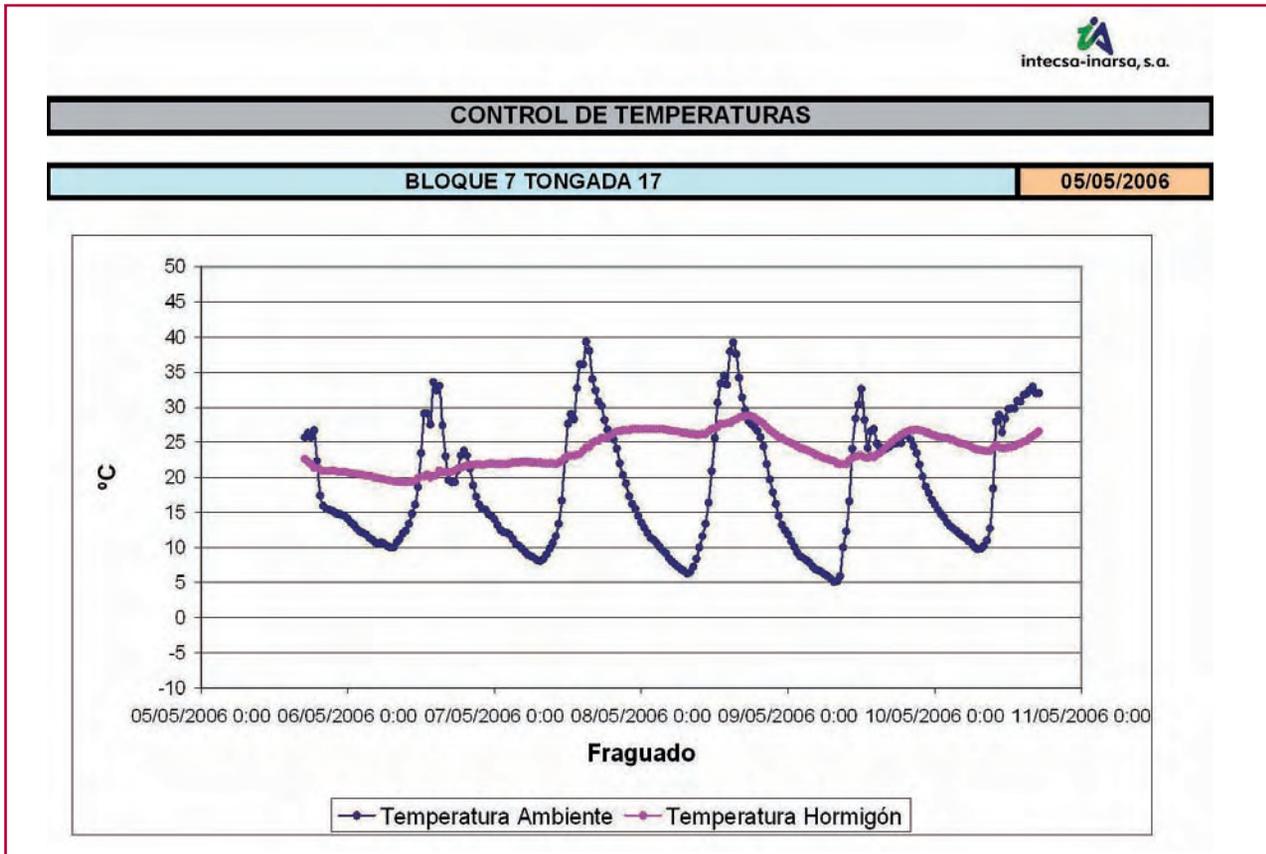


Fig. 12. Evolución de la temperatura del hormigón durante su fraguado.

Además se establece un seguimiento de la temperatura del hormigón fresco y de la que alcanza el hormigón en su primera fase de endurecido, dejando embebidas en las masas hormigonadas unos termómetros que registran de manera continua la temperatura de fraguado durante los primeros días.

Se verifica que tanto la temperatura del hormigón fresco como la máxima que experimenta un su fraguado no sobrepase los valores que establecen las normativas y el Pliego.

8. Actuaciones sobre las presas de aguas arriba

Dentro del nuevo embalse de Montoro quedarán parcialmente inundadas las presas de Mesto, Tablillas y totalmente la antigua presa de Montoro.

En cuanto a las dos primeras se mantendrán en uso dichas presas puesto que suponen una capacidad de regulación adicional. Al quedar los desagües de fondo inundados, se rehabilitarán para que puedan ser controlados desde coronación con el mismo nivel de garantía.

En cuanto a la antigua presa de Montoro, se ha previsto el desmontaje de las compuertas actualmente existentes, y la ejecución de dos conductos en paralelo por debajo de la cota 542,75 (cota del labio del vertedero sin compuertas) para garantizar su permeabilidad.

9. Primer llenado

Está previsto que las obras terminen en la primera mitad del año 2007 por lo que el desvío del río quedará cerrado en este momento comenzando con el programa de puesta en carga.

En función de las aportaciones al embalse, el llenado del embalse, y por tanto la puesta en carga de la presa, se puede prolongar previsiblemente en un espacio de tiempo en el entorno de los 14 meses.

Ahora bien, la puesta en carga de una presa no debe hacerse de una forma continuada y rápida, sino que, por el contrario, es conveniente realizar este llenado de una forma escalonada y lo suficientemente lento para que permita la observación del comporta-

miento de la estructura frente a las cargas a las que va a estar sometida.

La presa de Montoro constituye una estructura suficientemente importante como para que el llenado se realice en varias etapas.

En este sentido se han considerado tres escalones de llenado, que se pueden definir de la siguiente manera:

a) Primer escalón de llenado

Este primer escalón de llenado se establece entre la cota de embalse existente cuando se produzca el cierre del desvío del río, hasta la cota 542,78 m, que coincide con la cota del labio del aliviadero de la antigua presa de Montoro y la cual es una cota algo mayor que 1/3 de la altura de la presa.

El mantenimiento de la cota final de este escalón, en tiempo, debería ser al menos de dos meses, para tener un mínimo de seguridad de que todos los parámetros a medir han sido afectados por las cargas y que las líneas de corriente se han estabilizado.

b) Segundo escalón de llenado

Este segundo escalón se encuentra comprendido desde la cota anterior (542,78 m) hasta la cota 551 m,

que coincide sensiblemente con una altura equivalente a los dos tercios de la altura de la presa.

En este segundo escalón la antigua presa de Montoro se inutilizará, perforándose su cuerpo y realizándose la retirada de sus compuertas. Por ello, esta fase no contará con la regulación propiciada por la presencia de la actual presa, sino que se pasará a una dinámica habitual de llenado en la que las aportaciones entrarán libremente en el embalse y la evacuación de los excesos se producirá por los órganos hidráulicos de la nueva presa.

c) Tercer escalón de llenado

Este tercer escalón se extiende desde la cota final del escalón anterior (551 m) hasta la cota de aliviadero 565,75 m.

Evidentemente, su comienzo debe hacerse cuando exista la completa seguridad de que, tanto la presa como las instalaciones y el terreno tienen un funcionamiento considerado como correcto en función de los datos obtenidos de inspección visual y de las mediciones dadas por la auscultación.

Por tanto los incrementos de nivel del embalse no deben superar una velocidad de 25 cm al día y el mantenimiento de la cota final deberá ser como mínimo de un mes. ♦