



La Presa de Tous

Ingeniería, seguridad
y desarrollo en la
Ribera del Júcar



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CÓNFERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL JÚCAR









La Presa de Tous

Ingeniería, seguridad y desarrollo
en la Ribera del Júcar

José Luis Utrillas Serrano

Ingeniero de Caminos. Director de las obras

Valencia, 2013





Aviso Legal: Los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados, citando la fuente y la fecha, en su caso, de la última actualización

Edita

Confederación Hidrográfica del Júcar

Dirección

José Luis Utrillas Serrano
Confederación Hidrográfica del Júcar

Autor

José Luis Utrillas Serrano

Coordinación y revisión de textos

Concha Baeza

Imágenes y fotografías

Archivo fotográfico de la
Confederación Hidrográfica del Júcar
José Vicente Rodríguez
Biblioteca Valenciana, fondo gráfico
Archivo General y Fotográfico de la
Diputación de Valencia
Archivo J. Huguet

Diseño y maquetación

Salvador Company
Pentagraf Impresores S.L.

Impresión

Pentagraf Impresores S.L.

NIPO: 287-13-002-6

D.L.: V-1710-2013

<http://publicacionesoficiales.boe.es/>

Datos Técnicos de la edición

Composición: 2 columnas

Formato: 24 x 30 cm

Tipografía: DIN cuerpo 9 pt.

Papel: estucado semi mate 170 g

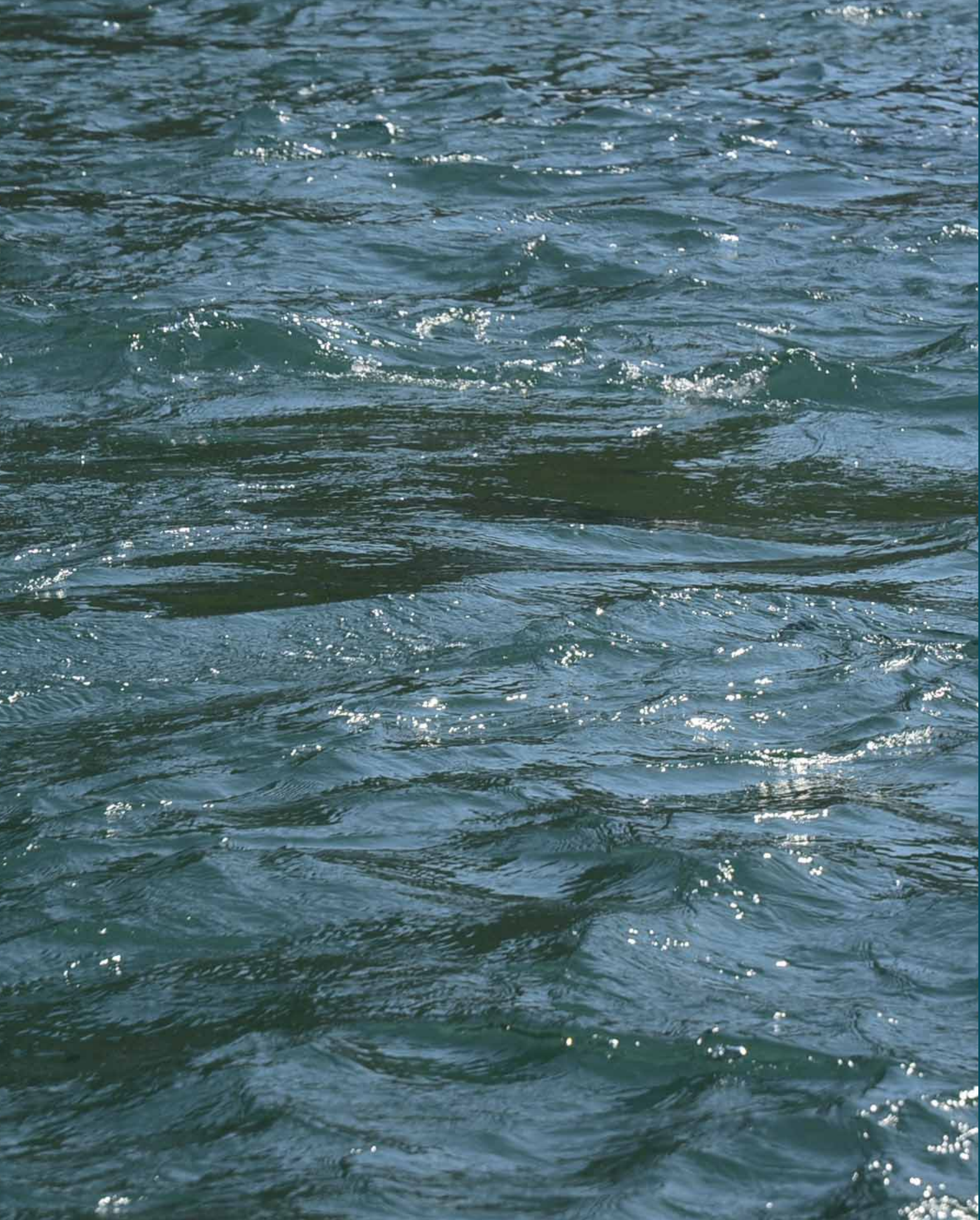
Encuadernación: portada cartoné

forrado (2,5mm espesor) e interior

pliegos cosidos con hilo vegetal

Tintas: 4 + 4

A mi esposa e hijos



Índice

020

Vida e historia en torno al Júcar

Concha Baeza

044

Un plan para defender La Ribera

064

La presa de Tous, un hito en la ingeniería hidráulica

066 El cuerpo de la presa

078 El aliviadero

084 El puente sobre el aliviadero

088 El desagüe intermedio

098 La toma de agua

106 El desagüe de fondo

110 Galerías y pozos

118 El desvío del Júcar: planificar y prevenir

125 Asegurando la estanqueidad

130

Más allá de la construcción

148

Las últimas obras

176

Anexos





Tras casi dos décadas de funcionamiento de la nueva presa de Tous, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente a través de la Confederación Hidrográfica del Júcar, nos invita en este libro, tomando como eje central ese "hito de la ingeniería hidráulica", a deleitarnos con un auténtico paseo por la geografía, la naturaleza, la historia y la vida del hombre en torno al río Júcar.

El texto analiza de modo didáctico y ameno, el propio curso fluvial desde su accidentado nacimiento allá por los Montes Universales hasta su plácida desembocadura en el Mediterráneo, mostrando los cambios que en su carácter se imponen forzados por la orografía, el clima o la mano del hombre. El río Júcar se nos presenta desde una doble perspectiva, una amable, como generador de riqueza y prosperidad y otra temible, como amenaza para los bienes y personas, cuando periódicamente se embravece y manifiesta en todo su poder la fuerza destructora de la naturaleza desbocada.

Fruto de los esfuerzos del hombre por dominar esa naturaleza es la construcción de grandes infraestructuras hidráulicas. Entre estas manifestaciones del ingenio humano, la nueva presa de Tous se nos presenta en el cuerpo central del libro, a lo largo de tres capítulos, desde la concepción del proyecto y sus modificaciones, hasta las últimas obras para su definitiva conclusión, hoy todavía en curso.

Y ello en el marco de la planificación global nacida para la defensa de las tierras de la Ribera frente al Júcar. Este cuerpo central del libro pese a lo técnico y específico de su contenido no es inaccesible al profano, porque se ha cuidado su redacción en

un lenguaje asequible al público en general, sin que por ello pierda su utilidad para los estudiosos de la ingeniería.

La nueva presa de Tous se manifiesta en este libro no solo como una gran obra pública de ingeniería, sino también como una especie singular de creación que ha sido examinada, analizada, auscultada, estudiada en todos sus elementos, en el comportamiento de los mismos, en su evolución, y sus cambios, para poder afirmar y confirmar el correcto funcionamiento general de la infraestructura. Pero el cuidado puesto en la infraestructura en sí no ha sido menos que el que se nos describe para lograr su integración medioambiental y paisajística, y culminar con los trabajos del Centro de Interpretación del Agua en ella instalado, como centro de difusión social del conocimiento y la educación en materia de agua. De esta manera se recompone la estrechísima relación histórica entre el río y las gentes que pueblan sus riberas.

Quiero acabar estas líneas con el reconocimiento a la labor de un hombre que ha dedicado los últimos veintidós años de su dilatada trayectoria profesional a la nueva presa de Tous. A dirigir su construcción y vigilar su comportamiento, se trata del ingeniero de caminos, canales y puertos, D. José Luís Utrillas Serrano, que ve, explica y sabe la presa de Tous con tanta autoridad, dedicación y conocimiento que trasciende lo meramente laboral para convertirse en pura vivencia. Y de cuyo tesón y esfuerzo es también fruto este libro que prologamos para difundir a la sociedad en general la importancia de este hito de la ingeniería hidráulica.

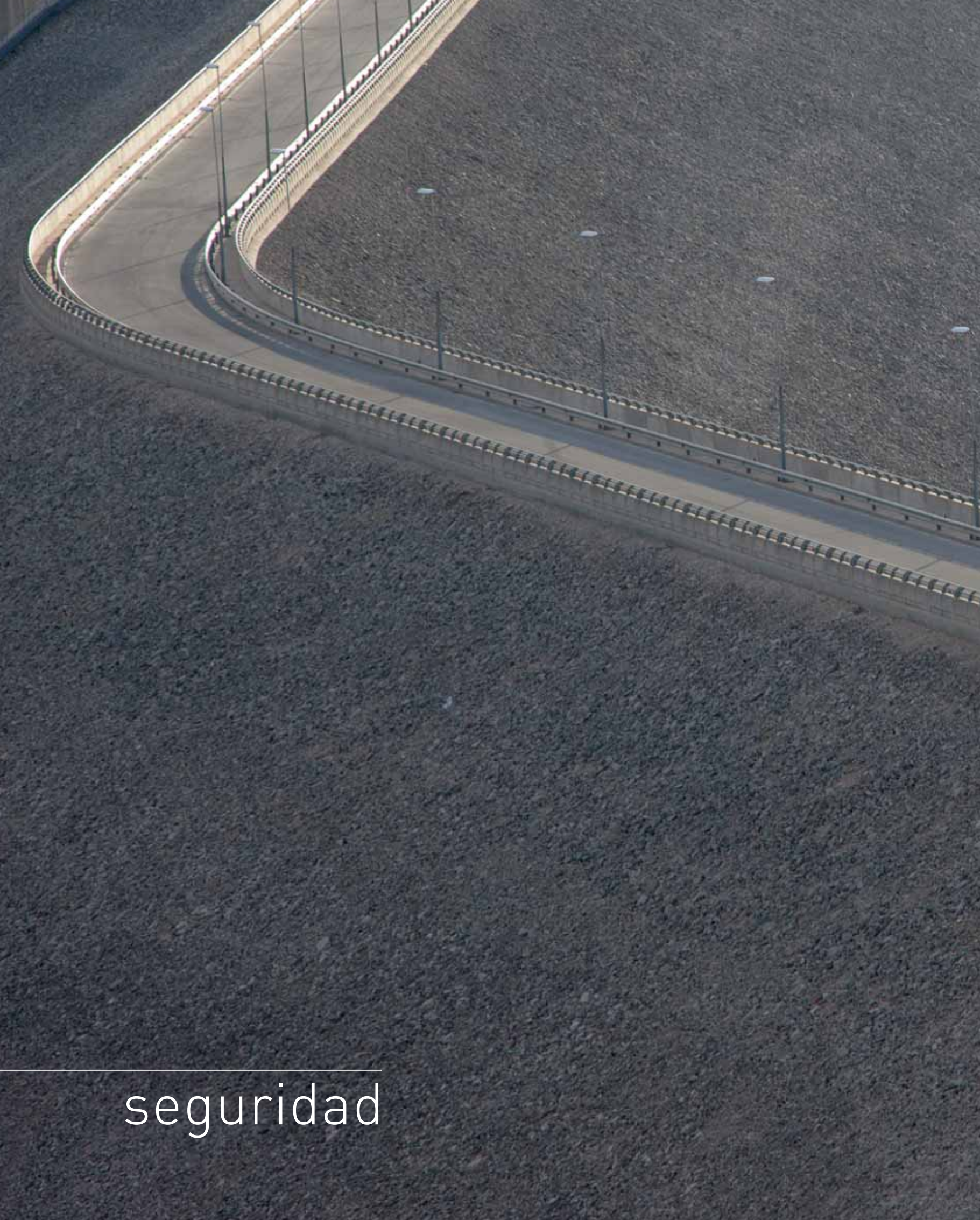
M^a Angeles Ureña Guillem

Presidenta de la Confederación
Hidrográfica del Júcar



armonía





seguridad







lógica





En el año 1996, una vez terminada la construcción de la presa, se publicó el libro titulado *La presa de Tous*. Fue el fruto de la labor de un equipo de personas que, asumiendo un reto, pusieron el mejor de sus empeños, un gran cariño y toda su voluntad, como habían hecho durante la obra, en ofrecer a la sociedad un texto sobre la historia, estudios, proyectos, construcción y seguimiento de la obra hasta los primeros días de su puesta en explotación.

Pasados 17 años, se presenta un nuevo texto que, por un lado, recoge resumido lo que fue publicado anteriormente, y por otro lado, expone el funcionamiento de la presa a lo largo de todo este tiempo, los beneficios aportados en el incremento de reservas en el Júcar y las mejoras introducidas. Como no podía ser de otra forma, también incluye una descripción de los esfuerzos en mejorar la seguridad de la estructura como tal, su funcionamiento y operatividad, su integración con el medio ambiente, su accesibilidad y, como colofón, la creación de un Centro de Interpretación del Júcar, realizado con el propósito de crear un elemento de dinamización cultural y de puesta en valor del aprovechamiento de los recursos potenciales que ofrece la presa de Tous y el río Júcar en general.

José Luis Utrillas Serrano

Director de obra
de la Presa de Tous



La Presa de Tous

Ingeniería, seguridad y desarrollo en la Ribera del Júcar

La presa de Tous se alza al final del último tramo montañoso que atraviesa el Júcar, inmediatamente antes de que el paisaje se transforme en una generosa llanura que mira al Mediterráneo. Es la última de las represas que se interponen en este accidentado curso fluvial. Pero no es una más: se trata de una pieza clave en el control de este imprevisible río y, por las dificultades orográficas a las que se enfrenta, por la hidrología que ha de afrontar, por las innovadoras soluciones que integra y por la trascendencia social de su presencia, constituye uno de los hitos más notables de la ingeniería hidráulica en España.

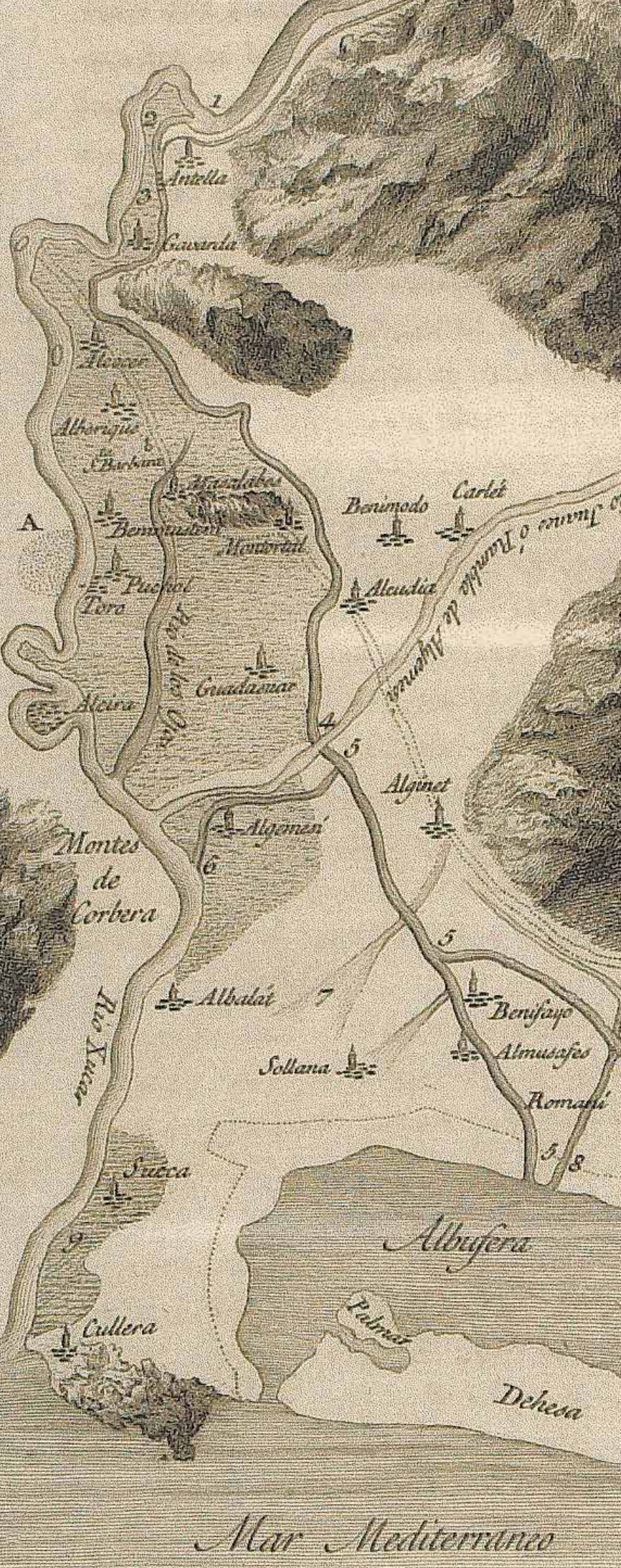
Incluida en el *Plan General de Defensa contra las avenidas del Júcar*, redactado en 1985, tiene unas características muy especiales que responden a un objetivo central: el de laminar las avenidas probables del Júcar, protegiendo de este modo a la población de aguas abajo.

Para cumplir con su propósito central, el diseño de la presa se asienta en dos pilares: un embalse de gran capacidad (378 Hm³ a máximo embalse normal y 792 Hm³ a máximo nivel extraordinario) y un aliviadero de grandes dimensiones. En cuanto al embalse, la singularidad no reside solo en su gran capacidad, sino en su modo de explotación ya que, llegados los momentos de máximo riesgo (los meses comprendidos entre septiembre y noviembre), se deja con un volumen de agua situado en valores mínimos, del orden de un 20% del máximo nivel normal (es decir, 72 Hm³), dejando unos 300 Hm³ en disposición de empezar a laminar las avenidas. El aliviadero, por su parte, está diseñado sin compuertas y es capaz de evacuar la máxima ave-

nida probable, cifrada en 20.000 m³/s, valor que se estima para un periodo de retorno de 10.000 años. La suma de estas características es la que otorga una especial protección a la zona, pues entre ambas permiten, en primer lugar, contener a un Júcar embravecido de la mañana a la noche e, inmediatamente después, desaguar de forma controlada las aguas torrenciales, limitando los posibles daños.

Además de esta labor fundamental, esta infraestructura tiene otras importantes misiones añadidas; una de ellas es abastecer de agua potable al millón y medio de habitantes que residen en Valencia, su área metropolitana y Sagunto; la otra, proporcionar riego a más de 50.000 hectáreas de cultivos. A ello hay que añadir que la presa realiza una importante tarea de regulación de caudales: desde el año 1994 en el que se cierra su túnel de desvío y entra en explotación la presa, su presencia reguladora ha supuesto un incremento de reservas del orden de 1.500 Hm³, con valores punta de unos 200 Hm³ al año.

Un último capítulo reseñable es el hecho de que la presencia de esta presa ha hecho posible la modernización de la Acequia Real del Júcar, ya que la toma de la acequia, gracias a la presa de Tous, gana 40 metros de cota. Este hecho permite que los usuarios de esta infraestructura, siete veces centenaria, puedan irrigar por goteo sus campos sin presurización posterior y con un considerable ahorro de agua y mejora de las condiciones de trabajo.





01

Vida e historia en torno al Júcar

Espacio natural e intervención humana

A lo largo de sus aproximadamente 500 kilómetros de longitud, el Júcar va variando su carácter y se muestra alternativamente próximo o lejano en el fondo de un cañón, violento o dócil, dependiendo de los tramos que recorre. Nacido en los Montes Universales, el río atraviesa las provincias de Cuenca, Albacete y Valencia antes de desembocar en el Mediterráneo. Acompañándolo en su itinerario geográfico por montes y llanos, podemos contemplar ecosistemas diversos que son alimentados por este río. Y si hacemos a su lado un recorrido histórico, conoceremos paisajes que han cambiado por la mano del hombre y culturas que se han transformado gracias al poder de este curso fluvial.



01

Vida e historia en torno al Júcar

Espacio natural e intervención humana

El río Júcar: el medio natural

En su curso alto, el joven Júcar se presenta montañoso y pintoresco. Y continúa con ese mismo espíritu de torrente durante tantos kilómetros que prácticamente no se reconoce en él un curso medio típico. Solo al final de su recorrido, ya pasada la presa de Tous, el Júcar se convertirá en un parsimonioso curso fluvial que, entre meandros, recorre la Ribera camino del mar.

... un río es un camino que anda...

Joaquín Araujo

El Júcar, el mismo *Sucro* de los romanos que es llamado *Xúquer* en valenciano y *Xúcar* en Aragón, es uno de los grandes ríos de la Península Ibérica que discurre por el este de España y desemboca en el Mar Mediterráneo. Nace en la vertiente meridional del Cerro de San Felipe, a 1.700 m de altitud, en los Montes Universales, en Cuenca. Muy cerca de allí, nacen también el Cuervo (de la cuenca del Tajo), el Guadalaviar - Túria, el Cabriel (de la cuenca de Júcar) y el Tajo, en la Cordillera Ibérica. Se considera a los Montes Universales la divisoria de aguas entre los ríos de la vertiente atlántica y los que cursan hacia el Mediterráneo.

Con una longitud de más de 500 km, el Júcar atraviesa Castilla-La Mancha y la Comunidad Valenciana. Discurre por las laderas de la Sierra de Albarracín y la serranía de Cuenca, recorre esta

provincia de norte a sur y cruza la provincia de Albacete por su lado noreste abriendo un profundo tajo en la espaciosa llanura, una garganta que se extiende desde Valdeganga a Villa de Ves. Una vez en La Manchuela, y como resultado de un antiguo *fenómeno de captura*, describe un arco de unos 90°. Esta geometría, típica de lo que los geógrafos denominan *codo de captura*, hace que su curso cambie de dirección hacia el Este y, a partir de este tramo, dibuja numerosos meandros encajados, descendiendo por el borde de la Meseta y penetra en la provincia de Valencia hasta su confluencia con el río Cabriel (de ahí el nombre de la población de Cofrentes). Tras cruzar de Oeste a Este la provincia, entra en la llanura costera donde, a partir del azud de Escalona, empiezan las tomas de agua para el riego de la Ribera. Desemboca en el Mediterráneo por la población de Cullera.

Orogenia y geología

El río discurre por un valle formado sobre una cuenca sedimentaria de la era Terciaria. Esta cuenca se originó en la época de la orogenia Alpina, tras una fase de distensión en la que se hundieron bloques de materiales mesozoicos presentes todavía en los bordes de la cubeta de valle. Esta depresión se fue colmatando con materiales terciarios y cuaternarios procedentes de la erosión de los bordes montañosos circundantes y de aportes de ríos y lagos de una cuenca endorreica sin salida al mar.



Tras el relleno de la fosa, sucesos de origen tectónico y climático configuraron en la era Cuaternaria la red hidrográfica encajada que conocemos hoy. El periodo Cretácico se extiende principalmente en los territorios centrales y noroccidentales de Valencia, especialmente en el macizo del Caroig. Los materiales presentes son calizas y margas amarillentas, blanquecinas, verdosas o rojizas.

El cuaternario es una etapa de erosión sobre las superficies creadas en periodos anteriores y la posterior sedimentación de los materiales erosionados. Un ejemplo de ello es la llanura aluvial central valenciana, consecuencia de la influencia de los ríos Júcar y Turia. En esta era se producen los principales procesos kársticos.



Encajonamiento del río Júcar en la Ventana del Diablo

Cuenca hidrográfica del Júcar



Macizo montañoso de la Muela de Cortes

Palmito (*Chamaerops humilis*), es la única palmera nativa de Europa continental, prolifera en la Costa del Mediterráneo

El pino carrasco (*Pinus halepensis*), que crece en cotas bajas, es una especie muy discutida porque su riqueza en resina facilita la combustión y es muy propicio a sufrir incendios.



Curso fluvial

El tramo inicial del río Júcar, que recorre las tierras montañosas de Cuenca, presenta una gran variedad de formas en su relieve debido al proceso kárstico. Abundan los cañones y gargantas encajadas, así como las cuevas, torcas, dolinas y relieves característicos de la acción erosiva del agua en terrenos calizos. De todas las formas kársticas, las más curiosas se encuentran en la Ciudad Encantada, en Las Majadas y en el propio cauce del río Júcar y de algunos de sus afluentes, como el río Huécar, que forma una imponente hoz.

En este tramo inicial se encuentra el embalse de Alarcón, donde podemos encontrar una variada población de aves. Además de cuervos y urracas, habitan en las proximidades rapaces como el aguilucho cenizo, el cernícalo y el águila lagunera; hay también chorlitos y abubillas. También es posible ver, en plena migración, especies como la garza común, la grulla y el ánade común. En cuanto a mamíferos, hay que reseñar la presencia de conejos, liebres, jabalíes y zorros. En sus aguas podemos ver entre otros la *loina*, la *colmilleja* y el barbo mediterráneo.

El curso medio del Júcar podría considerarse entre Villalba de la Sierra (cerca del Ventano del Diablo) y el embalse de Tous. En este espacio, el río abandona la provincia de Albacete para entrar en la de Valencia por Jalance a través de impresionantes cañones que se extienden a lo largo de cinco kilómetros. La inmediata confluencia de los ríos Júcar y Cabriel se resuelve en el común cauce dentro ya del embalse de Cortes II, que almacena un volumen de agua casi constante para su aprovechamiento hidroeléctrico.

En este tramo medio, el Júcar atraviesa **el Caroig**, una plataforma caliza de relieve tabular en la que confluyen dos grandes sierras: el Sistema Ibérico al Norte, con las sierras de Martés y Dos Aguas, y el Sistema Bético al Sur, con la sierra de Enguera. El relieve tabular se resuelve en una serie de muelas y oteros muy elevados, debido a los profundos tajos en los que se encaja el curso del río. En esa zona es fácil ver los curiosos *jacintos de Compostela*.

Al Oeste del Caroig se abre el valle de Ayora, que se caracteriza por la presencia de margas, arcillas y yesos acarcavados. Al Este se encuentra la Canal de Navarrés, la Hoya de Buñol y el Valle de Alcálans, donde encontramos cárcavas labradas sobre margas y yesos.

El valle de Ayora situado entre las sierras del Boquerón, Palomera y Muñón al Oeste y la Muela de Cortes de Pallás y el macizo del Caroig al Este, es un interesante paraje natural. Recorrido por abundantes pistas forestales, alberga diferentes abrigos con pinturas rupestres epipaleolíticas de entre ellos destacan las denominadas Cuevas de La Araña. También se encuentran simas con impresionantes formaciones de estalactitas y estalagmitas. Por último cabe destacar la presencia del cerro de Agras, el único surgimiento volcánico "reciente" (Plioceno-Cuaternario) de la Comunidad Valenciana, así como numerosas fuentes, barrancos, y parajes naturales de interés.

Esta comarca valenciana muestra abundante vegetación tanto de arbolado como de bosque bajo o maquia. Predominan las formaciones de alcornoques, pino carrasco y jaras y brezos. También podemos observar otras especies vegetales como tejo, arce, roble valenciano y acebo. En la fauna de la zona abundan diferentes especies de rapaces, representadas por el águila perdicera, el águila culebrera, el águila calzada, el azor, el búho real y el búho chico. En charcas podemos detectar la presencia del gallipato "*cullerot*", una especie amenazada, entre otras causas, por la introducción del cangrejo americano. Y entre los mamíferos, jabalí, garduña, tejón, perdiz, conejo, liebre, cabra montesa y muflón.

La Muela de Cortes es un macizo montañoso de origen cretácico compuesto principalmente por calizas, alternadas con yesos y arcillas. Es una extensa planicie de orografía abrupta que alcanza los 1.015 m en el Cinto Cabra y se encuentra delimitado al Norte y al Este por el río Júcar; por el Oeste limita con el valle de Sacarás, entre Ayora y Cofrentes; al Sur, la Muela queda separada del Macizo del Caroig por profundos canales fluviales.

El macizo se encuentra ligeramente inclinado hacia el Este, produciendo una complicada red fluvial que lo drena hacia el Este y Sur. La zona, por lo tanto, se convierte en una gran cisterna que deriva sus aguas a través de los numerosos barrancos y ramblas o como flujo laminar en las zonas que presentan menor cobertura vegetal. El curso fluvial más importante es el río Júcar, aunque también cabe destacar el barranco Moreno por su importancia botánica y arqueológica.

En este territorio se enclava la Reserva Valenciana de Caza de Muela de Cortes, que fue declarada como tal en 1973 y redeterminada en 2004 y cuyo



Barbo mediterráneo (*Luciobarbus guiranois*). Endemismo Ibérico, especie propia de los ríos comprendidos entre el Mijares y Serpis.



Gallipato (*Pleurodeles waltli*), es el mayor anfibio urodelo de Europa, pudiendo llegar a medir 30 cm. siendo la cola casi la mitad de su longitud. Es del mismo orden que los tritones y salamandras.



Nutria paleártica (*Lutra lutra*), es el mayor carnívoro valenciano, llega a alcanzar 120 cm. de longitud y 8 kg. de peso. Especie básicamente acuática, y gravemente amenazada.



Samaruc (Valencia hispánica), este pequeño pez, en peligro de extinción, vive en marjales y manantiales de la Comunidad Valenciana.



Los jacintos de Compostela, fáciles de ver en algunas zonas del Caroig, son cristales bipiramidales de cuarzo rojizo, unas minúsculas formaciones geológicas que podrían ser del Cuaternario.



La cabra hispánica (*Capra pyrenaica*) y el muflón tienen un comportamiento gregario y una alimentación básica de hojas de coscoja (*Quercus coccifera*).



El boj (*Buxus sempervirens*), aunque tiene hojas y frutos muy tóxicos, pues contienen diversos alcaloides como la ciclobuxina, es muy apreciado por la finura de su madera, que se emplea para planchas de grabado y para la construcción de instrumentos musicales



El algarrobo (*Ceratonia siliqua*), muy resistente a la sequía, es un árbol de crecimiento lento. Su semilla, el garrofín, tiene capacidad ignífuga. En la antigüedad se usó como unidad de medida por lo que, de su nombre griego *keration*, aún conservamos la unidad de masa denominada *quilate*.

uso básico es cinegético y dirigido a la conservación de la biodiversidad. Rodeado de desfiladeros, este espacio ha tenido tradicionalmente un acceso difícil, por lo que su aislamiento histórico ha facilitado la pervivencia de una variada fauna con presencia de rapaces como el águila calzada, el águila perdicera, el halcón peregrino y el búho real, especies acuáticas como el cangrejo de río y el galápago leproso (la tortuga acuática autóctona de la Península Ibérica) o mamíferos como el topillo de Cabrera (un roedor de endemismo ibérico) y la nutria europea paleártica. También hay que mencionar la gran población de cabra montés y la de muflón (*Ovis musimon*).

El uso agrícola se reduce a una pequeña parte del total de la superficie (6%), destinado la mayoría al cultivo de olivos. Destaca en el territorio la presencia de la Central Nuclear de Cofrentes.

El río Júcar sale del macizo cretácico del Caroig en **Tous**. En su término municipal, el río corre aún muy encajado excavando abruptas gargantas sobre las últimas estribaciones de la Sierra de Martés, ya en contacto con la huerta de la Ribera, dando lugar a un conjunto de cerros y lomas de formas tabulares. En el término son numerosas las fuentes (Higuera, Cambray), cuevas (cueva del Candil, cueva de la Güela) y simas (agujero del Tortero, sima de Serrano) afectados por un proceso kárstico. Hay que destacar zonas de flora endémica como el puntal del Boj y del barranco de Pertecates, con especies relictas como el boj (*Buxus sempervirens*), árbol de crecimiento muy lento que puede llegar a vivir 600 años.

En Tous, la agricultura constituye su principal actividad económica. Su flora natural se centra en la coscoja, lentisco, palmito, esparto y una gran variedad de plantas aromáticas. La producción en secano se centra en algarrobos (*Ceratonia siliqua*), almendros, olivos, cereales y viñedos. En regadíos se cultivan cítricos, kakis y hortalizas.

El Canal Júcar-Túria sale en forma subterránea desde el embalse de Tous para aflorar a un kilómetro al norte de la nueva población de Tous, desde donde se dirige hacia el noreste, para abastecer de agua potable a Valencia, su área metropolitana y a Sagunto y para el riego de su propia zona.

En el curso inferior del Júcar aparece su llanura aluvial, una planicie formada por los aportes del río y de sus afluentes Magro y Albaida en la que, con ayuda de numerosas acequias, se alternan la producción naranjera y el cultivo de arroz. En este



De las especies destacan el cormorán grande, que proviene de las frías aguas del mar Báltico, la garza real, la garza bueyera, la garceta común y aves tan espectaculares como los flamencos rosas y las cigüeñas. En estas aguas han llegado a reunirse hasta 70.000 ejemplares de diferentes especies de anátidas como el pato colorado, el ánade real, el pato cuchara, el porrón común y el ánade silbón. Las pequeñas limícolas, excelentes voladoras, que corren por el barro y los limos, también están representadas en La Albufera por el avefría, la agachadiza común, la aguja colinegra, el correlimos o el chorlito.

La vida acuática está representada por la anguila (*Anguilla anguilla*), la llisa cabuda, y el mújol, un ágil y veloz nadador que se desplazan formando grupos muy bien cohesionados. Aunque su población es ahora mucho más reducida que en el pasado, aún es posible encontrar ejemplares de samaruc (*Valencia hispánica*) y de gambeta.

La vegetación predominante es la palustre, abundando la enea, el carrizo y los junciales. Otras especies vegetales presentes son el enebro marino, el pino carrasco y el piñonero, la murta, el palmito y el lentisco.

Embalse de Tous



Vista general de la comarca de La Ribera

Campo de naranjos

Campos de arroz en la Albufera de Valencia



punto, el Júcar describe un recorrido sinuoso con meandros que se sitúan en cotas más altas que las tierras contiguas, por lo que es frecuente la formación de albuferas y marjales, zonas húmedas destacadas en cantidad y extensión en este ámbito territorial y geográfico. En general, ambos tipos de zonas se definen como extensas llanuras de inundación alimentadas tanto por aguas subterráneas como superficiales y que tienen gran importancia en el equilibrio ecológico. Destacan aquí el Estany de Cullera, que forma parte del Catálogo Valenciano de Zonas Húmedas, y la Albufera de Valencia, cuya inclusión en la lista del convenio Ramsar acredita su importancia internacional.

La aparición de la Albufera es el resultado del cierre del golfo por un cordón litoral que abarca desde Valencia a Cullera. El cierre se produjo por una lengua de arena o restinga que tuvo su origen en los materiales depositados por la corriente marina favorecidos por los aportes de los ríos Júcar y Turia. Y aunque en la antigüedad el lago tuvo una extensión aproximada de 30.000 hectáreas, diferentes causas naturales y la intervención humana hicieron descender su tamaño hasta sus 2.900 hectáreas actuales.

El Estany de Cullera, por su parte, se sitúa junto a la desembocadura del Júcar y, aunque fue una laguna costera, la rotura de la barra litoral en 1982 hace que se comporte como un estuario donde se mezclan las aguas del mar con las procedentes de surgencias subterráneas y la escorrentía de acequias, constituyendo un espacio de gran riqueza ecológica.

El Parque Natural de La Albufera destaca por el importante papel que juega en la migración de aves entre Europa y África. Formada por aproximadamente 21.120 hectáreas, incluye el lago y las zonas circundantes compuestas de grandes extensiones de cultivo de arroz y una hilera de dunas que la protege de la costa del Mar Mediterráneo. La declaración de Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) queda justificada por las más de 250 especies que visitan La Albufera; y de ellas, por lo menos 90 la eligen como área de reproducción. Un gran número de especies europeas cuyas rutas migratorias pasan por el lago, invernan en él desde octubre a finales de febrero gracias a la presencia de agua, el buen clima y la abundancia de alimento que comparten con las poblaciones sedentarias que permanecen en La Albufera todo el año.

Clima, suelo y régimen pluvial

Las comarcas valencianas interiores por las que discurre el río Júcar son la del Valle de Ayora y la Canal de Navarrés. Son comarcas forestales que, aunque presentan clima mediterráneo, tienen una clara influencia continental, con inviernos rigurosos y elevadas oscilaciones entre el día y la noche. Sus inviernos largos y fríos tienen fuertes heladas y contrastan con cortos y calurosos veranos de lluvias generalizadas en primavera y otoño. Aquí, los suelos son en su mayoría ricos en bases, lo que permite el asentamiento de la típica flora calcícola y mediterránea, con pequeños afloramientos yesíferos y silicatados.

El suelo afecta al régimen hidrográfico en virtud de su grado de permeabilidad. Un sustrato permeable como el calizo, absorbe y retiene una cantidad importante de agua, lo que repercute en dos aspectos: en el desfase temporal existente entre el momento de la lluvia y el crecimiento del caudal y en los efectos beneficiosos que produce el aprovechamiento de estos manantiales en los meses de sequía.

Los ríos Júcar, Turia y Segura son ríos mediterráneos típicos que muestran una moderada longitud y un caudal reducido. Su régimen es pluvial y está determinado por el roquedo calizo de sus lugares de nacimiento. Tienen gran importancia pues los primeros riegan la huerta valenciana y el segundo, las huertas de Murcia y Alicante.

El régimen pluvial mediterráneo registra un máximo principal en otoño y otro secundario a finales del invierno o principios de la primavera. Destaca en él un mínimo estival menos acusado en duración e intensidad que en el régimen mediterráneo continental.

El impacto humano en el ecosistema de la región

Después de siglos de convivencia equilibrada entre el río Júcar y los habitantes de su entorno, la industrialización y la agricultura intensiva han ido provocando a lo largo de las décadas importantes cambios y una paulatina degradación del entorno que, desde hace algunos años, se intenta revertir. No olvidemos que la gran importancia económica de la llanura aluvial la ha convertido en la zona más densamente poblada de todo el curso fluvial.

Uno de los problemas fundamentales son los incendios forestales, que provocan desastres ecológicos: la fauna termina quemada, asfixiada o des-

plazada por el fuego y el humo; los cursos fluviales resultan acidificados por culpa de las cenizas arrastradas por el agua que apagó el incendio; y las riberas, sin plantas que afirmen el suelo, resultan lavadas, empobrecidas en nutrientes y sin su riqueza vegetal.

Otro aspecto relacionado con la intervención humana es la presencia de **especies invasoras** que compiten por el alimento y el espacio con la fauna y flora autóctona, desplazándola hasta hacerla desaparecer. Existe una lista negra con una treintena de *especies exóticas invasoras* cuya liberación o siembra en el medio natural, su transporte y

comercio están prohibidos. Su detección temprana es muy importante para intervenir con rapidez e intentar detener su expansión. Algunas de estas especies son la gambusia (*Gambusia holbrooki*), competidor del *samaruc* y del *fartet* en las aguas de las tierras bajas y los siluros (*Silurus glanis*), que han puesto en alerta tanto a las autoridades medioambientales como a los pescadores de la Albufera, temerosos de que el pez más grande de aguas dulces de Europa reduzca la población de especies locales como la *llisa*. También son temidos el cangrejo rojo americano, la almeja asiática y la tortuga de Florida.



Azulón de la Albufera (*Anas platyrhynchos*), notorio dimorfismo sexual en la pareja

Población de anátidas en la Albufera

Cultivo de arroz en la Albufera

Población de juncos en el marjal





Construir el paisaje en torno al Júcar

Texto de Concha Baeza

A lo largo del curso del río y del curso de la historia, el ser humano ha aprendido a convivir con el Júcar: ha consumido sus aguas y ha utilizado su curso como senda, ha sabido aprovechar su fuerza para todo tipo de industrias, ha fertilizado los campos con él y lo ha hecho moler el cereal de su pan. Es una relación estrecha: el río condiciona el modo de la vida de los seres humanos; los seres humanos, por su parte, luchan por dominarlo y, en su empeño por domesticar la naturaleza, modifican el territorio creando nuevos paisajes.

“El río crecía. Las aguas, rojas y gelatinosas como arcilla líquida, chocaban contra las pilastras de los puentes, hirviendo como montones removidos de hojas secas. Los habitantes de las casas inmediatas al Júcar seguían con mirada ansiosa el curso del río y plantaban en la orilla cañas y palos para convenirse de la subida de su nivel. (...) El agua subía con lentitud, amenazando a la ciudad que audazmente había echado raíces en medio de su cauce”.

Era 1900 cuando Vicente Blasco Ibáñez publicó su popular novela *Entre naranjos*, en la que el novelista retrataba el modo de vida de Alzira y de toda la Ribera del Júcar: una sociedad pegada a la tierra a la que destinaba unos enormes esfuer-

zos; pero que, en lugar de trabajar como en otros lugares en condiciones climáticas e hidrológicas adversas, disfrutaba de un clima tan benigno, unos campos tan fértiles y un río tan generoso que sus habitantes se permitían el lujo de destinar la mayoría de sus cosechas al comercio y no a su propia subsistencia.

La llanura aluvial, los cultivos de huerta y los campos de naranjos son protagonistas de un relato en el que es también personaje omnipresente el Júcar, con su acción benefactora y, por supuesto, con una de sus cíclicas crecidas. Una avenida tan habitual para la vida de la población que, según la pluma del novelista, no inquieta demasiado a sus habitantes pese al currículo devastador del río. “Aquella inundación sería como todas”, dice el relato, para concluir con una imagen muy significativa: “El río era el amigo de Alcira; se guardaban el afecto de un matrimonio que, entre besos y bofetadas, llevasen seis o siete siglos de vida común”.

Besos y bofetadas, así describe el artista esa relación estrecha, dependiente y difícil, esa tensión permanente entre el Júcar y los habitantes de su entorno. Es una historia vieja: la búsqueda de la región más fértil aceptando al mismo tiempo el

El río Júcar a su paso por la ciudad de Alzira en una tarjeta postal de los primeros años del siglo XX



Vista de una de las antiguas presas realizadas en el Júcar para su aprovechamiento. Hacia 1905.

riesgo de las avenidas. Y en medio, un empeño en controlar la naturaleza que había comenzado no seis o siete siglos antes, sino miles de años atrás. Y que se había mantenido, con irregular presencia, a lo largo de los casi 500 kilómetros que recorre el río.

La presencia de seres humanos a lo largo de las cuencas fluviales es la respuesta obvia a la lógica de la naturaleza: no solo es que sin agua no hay vida, sino que el agua dulce es, además, un recurso tan necesario como escaso sobre la corteza terrestre. Por eso, si el hecho de situarse en las proximidades de las fuentes de abastecimiento de agua fue siempre importante, resultó esencial a partir del descubrimiento de la agricultura y, con ella, la sedentarización de las poblaciones.

Los asentamientos humanos a lo largo del Júcar y el aprovechamiento de sus aguas presentan muchas diferencias a lo largo de su curso. Pero es que hablamos, precisamente, de un río de curso desigual: nacido en una serranía que le aporta una cabecera áspera e intrincada, tiene un curso medio con espíritu de torrente; atraviesa grandes formaciones rocosas, se encañona en diversas ocasiones y forma en múltiples puntos espacios de difícil acceso y de escasa o incluso imposible utilización agrícola, donde el aprovechamiento de montes y la ganadería han sido la clave tradicional para la supervivencia. Pero también transcurre por dos zonas anchas, llanas y suaves, vegas perfectas para la práctica de la agricultura: la prime-

ra está situada en zona de clima continental, por lo que sus diferencias térmicas entre el invierno y el verano permite rendimientos mayores que en terrenos de secano; la segunda vega es una llanura aluvial, la que atraviesa el río ya próximo a su desembocadura. Se trata de una franja de tierra próxima al Mediterráneo muy favorable para una agricultura más generosa gracias a la fertilidad de la tierra y a la benignidad del clima y en la que, la posibilidad de ejercer un buen control sobre las aguas del río, significa la clave de unas cosechas generosas.

Tanto en las zonas agrestes como en las llanas, en los tramos rápidos como en los lentos, el hombre ha aprendido a sacar el máximo provecho del Júcar a lo largo de los siglos, manejándolo hasta donde sus fuerzas, su ingenio y su tecnología le han permitido en cada momento.

Transporte fluvial: el río que nos lleva

Las vigas para la construcción, los buenos tablores para carpintería y muebles, igual que los palos mayores y las mejores piezas para barcos no procedían de cualquier tipo de árbol, sino de los que tienen troncos rectos y ramas escasas. Similares características se exigía a los troncos que se convertían en postes telegráficos y de minas o en traviesas para el ferrocarril. En la Península Ibérica, los pinos de las tierras altas y frías han sido tradicionalmente los más apreciados y abundantes para extraer madera y postes de calidad, pero se da la circunstancia de que esos árboles crecen en zonas alejadas de los centros de consumo. ¿La solución? Utilizar la fuerza de los ríos y el curso que ellos mismos han trazado para trasladarlos.

En un río como el Júcar, donde el transporte de mercancías con barco es prácticamente impensable, el traslado de troncos sueltos en flotación se convirtió en una actividad económica de gran importancia. Aunque se supone presente desde tiempos prehistóricos, esta fórmula está bien documentada a partir de la época islámica y hasta bien entrado el siglo XX. Y en los últimos años, cuando el olvido parecía inevitable, se ha reactivado con espíritu etnológico.

Textos árabes medievales, como el de Al-Idrisii en el siglo XII, ya hablan de cómo las maderas, procedentes de los pinares de la Serranía de Cuenca, se las hacía bajar río abajo por el agua del Júcar. Una parte se quedaba en la ciudad de Cuenca, desde donde se transportaban por tierra a otros destinos, pero el grueso viajaba hasta Alzira y Cullera. Y desde allí, por mar, unos troncos iban a Valencia

para ser usados en la construcción y otros a Denia para servir a la industria naval. En medio, casi 500 kilómetros y un viaje que podía prolongarse casi nueve meses y en el que podían surgir sorpresas. Es lo que aconteció en la gran riada que el Júcar protagonizó en 1864 y que sorprendió a un grupo de 300 gancheros cerca de Cortes de Pallás acarreando una maderada de 60.000 troncos. Cerca de una cuarta parte del material se pudo recoger en Alberic pasada la avenida, pero otros troncos se dispersaron y muchos terminaron en el mar.

Fue el ferrocarril, a cuyo desarrollo habían contribuido los propios madereros, uno de los elementos que contribuyó a acabar con este modo de trabajo al que se sumó la mejora de carreteras, la

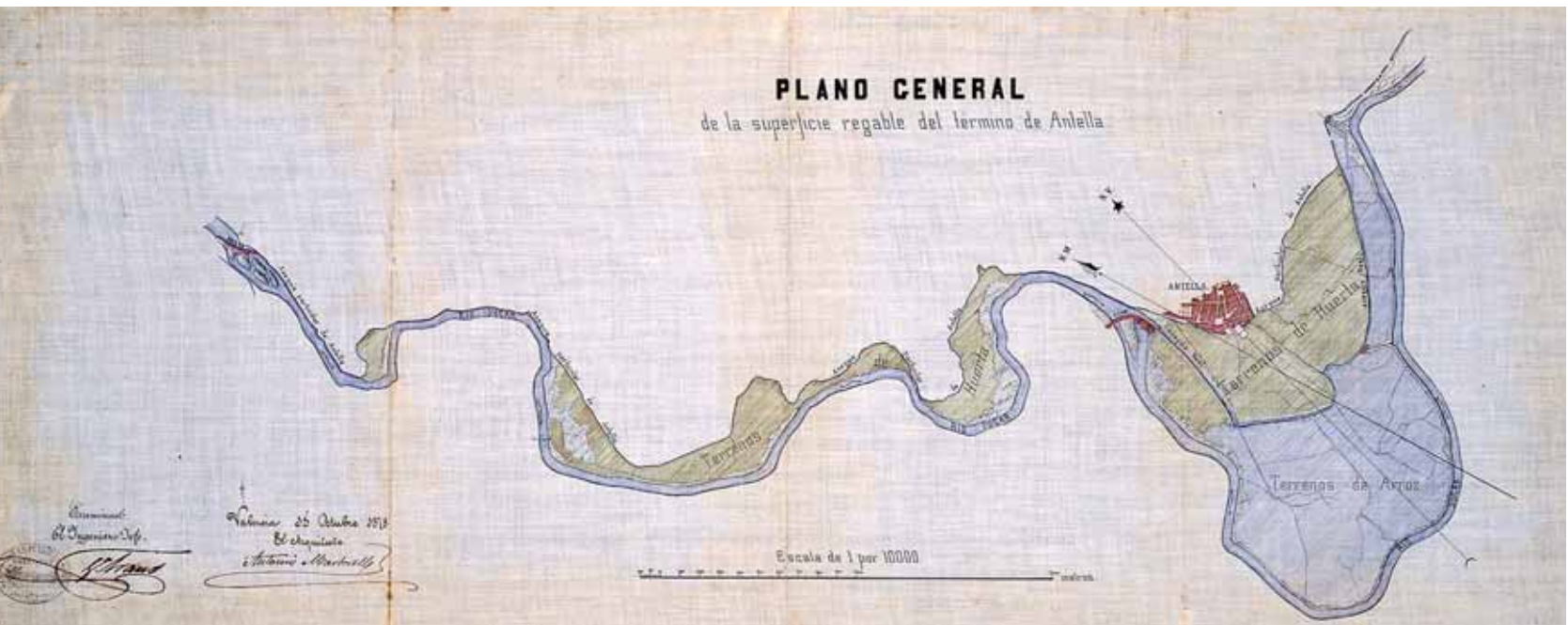
introducción del camión o la construcción de embalses. La introducción de otros materiales en la construcción de vivienda y de barcos y la llegada, a través de grandes vapores, de maderas de importación acabaron con este modo de aprovechamiento del Júcar.

El regadío: el arte de construir oasis

“Para regar las huertas, los valencianos ponen a contribución todas las fuentes y los ríos. (...) Ni se contentan con aprovechar todas las aguas de las fuentes (...) taladran montes, levantan arcos para sostener acueductos, construyen depósitos o pantanos en el fondo de los barrancos para recoger

Grabado xilográfico de finales del siglo XIX representando una escena de transporte fluvial de la madera en los ríos valencianos





Plano de la superficie regable en el término de Antella en 1878

Aspecto de una acequia de riego durante las primeras décadas del s. XX

las aguas de las lluvias...” A finales del siglo XVIII, el naturalista Antonio José de Cavanilles describía con estas palabras la rotunda apuesta por el regadío que se extendía por la región y continuaba por el sureste de la Península; un regadío que se encontraba en un notable estado de desarrollo en la época en la que el botánico escribió sus *Observaciones sobre la historia natural, geografía, agricultura, población y frutos del Reyno de Valencia* y que había dado lugar a espectaculares obras de ingeniería.

El regadío es una respuesta tecnológica: la que ha encontrado el ingenio humano ante el reto natural que supone la escasez del agua o la estacionalidad de las precipitaciones. Teniendo en cuenta que en todo el este peninsular las lluvias son escasas y se concentran en los meses de otoño, la mejor manera de optimizar la producción consiste en llevar el agua desde sus reservorios naturales (sean ríos, manantiales o acuíferos subterráneos) hasta los campos de cultivo durante la temporada seca.

La cultura del agua, incluyendo en ella el conjunto de prácticas y tecnologías, se ha dado a lo largo de todo el curso del Júcar desde la prehistoria, pero ha sido en el tramo final del río, próximo ya a la costa mediterránea, donde esta ha presentado una mayor riqueza y complejidad. Debido a la bonanza de su clima, suavizado por la presencia del Mediterráneo, el esfuerzo que significa la cons-

trucción de artefactos, la desviación de cursos o el mantenimiento de infraestructuras para el riego ha tenido una recompensa generosa.

La Ribera tiene en su entorno próximo vestigios muy tempranos de agricultura de regadío. Las vecinas civilizaciones de los Millares y del Argar, pertenecientes a la Edad de Bronce y situadas algo más al Sur ya presentaban un buen conocimiento sobre el agua y su manejo, incluyendo tanto el regadío como el abastecimiento a los núcleos de población. El mismo conocimiento se expandió, implantándose en las orillas del Júcar durante la Cultura Íbera, en la Edad de Hierro. Y la situación no haría más que avanzar, desarrollarse y mejorar con la llegada sucesiva de fenicios, griegos y cartagineses en épocas posteriores. E inmediatamente después de estos pueblos, a partir del siglo II a.C., la colonización romana y la presencia de sus expertos ingenieros y legisladores permitieron ir mucho más lejos: mejorar las técnicas de control de agua, incorporar artefactos de gran trascendencia económica, implantar una base normativa para regular el uso del agua, su captación y su transporte y, por supuesto, amplificar la presencia del regadío a todo el curso del Júcar.

El desmembramiento del Imperio no acabó con estas prácticas hidráulicas o sus infraestructuras, sino que tuvieron continuidad como sugiere el hecho de que el rey Recesvinto dictara normas

en el año 654 para castigar infracciones cometidas durante el regadío. La época islámica también significó la prolongación de usos, pero solo en el aspecto técnico, ya que la nueva organización social y territorial sí que introdujo alteraciones que hicieron posible el crecimiento de la superficie regada y el mantenimiento de las infraestructuras. Precisamente la creación de infraestructuras cada vez de mayor envergadura ha sido el elemento que ha hecho crecer ininterrumpidamente el regadío en las últimas centurias dentro de la región, comenzando con la creación de la Acequia Real del Júcar en el siglo XIII, en plena Reconquista, pasando por los embalses más tempranos de Europa, datados en el siglo XVI y por los nuevos canales diseñados en medio de los afanes ilustrados del XVIII para terminar con los embalses proyectados por el reformismo de la II República, aumentados, modernizados y mejorados a lo largo de las últimas décadas.

El regadío tradicional ha estado presente en todos los espacios aptos para el cultivo que estuvieran próximos al Júcar. La huerta no se limitaba a la fértil llanura aluvial de la Ribera sino que se cultivaron con esmero otras vegas río arriba, independientemente de su tamaño: las medianas, como la que se encuentra próxima a Cuenca, la muy espaciosa que se sitúa justo antes de Alarcón e incluso las estrechas fajas que quedan a ambos lados del Júcar cuando el río se encañona. Sobre estas zonas, en muchos casos de difícil acceso, se detenían los ingenieros que, dos años después de la riada de San Carlos que el Júcar protagonizó en 1864, completaban un extenso informe al Ministerio de Fomento. Los expertos comentaban cómo en las proximidades de Valdeganga, "entre las ásperas y elevadas gargantas por donde corre el Júcar, se ven en su fondo dos fajas de huertas a todo lo largo de la corriente cultivadas con esmero y cubiertas de frondosos y corpulentos nogales y cerezos". Y continuando su descripción, en las proximidades de Jorquera, relatan: "Es admirable el contraste que ofrecen el aspecto salvaje de los escarpes verticales que limitan el valle, con la frondosidad y soberbia vegetación de la ribera. A ambos lados del río se extiende un encintado de huertas cultivadas admirablemente, los cuales están limitados por dos cortaduras verticales de extraordinaria altura".

La tecnología que hizo posible un regadío tradicional que fue creciendo a lo largo de los siglos tuvo que atender a la captación del agua y a su acumulación, pero fundamentalmente tuvo que resolver el problema de transportar y distribuir el agua desde el río hasta las parcelas de cultivo. Acequias



Detalles de un plano de 1841 en el que se describe el proyecto para construir varias casitas en las acequias que conducen las aguas a Alfarache, Catadau y Llombay

Construida en el siglo XVIII y restaurada recientemente, esta noria ubicada en Casas del Río aún permite el riego de 19 hectáreas de huerta

y norias destacan como elementos esenciales para esta tarea.

La noria de río (existe otra noria, de tracción animal y muy utilizada en otras regiones para extraer el agua subterránea de los pozos) es un ingenio de origen incierto. Introducido en España por los árabes, tiene un evidente parentesco con la rueda hidráulica utilizada en los molinos: de hecho, la palabra parece proceder el árabe Na'Ura, o rueda hidráulica.

Utilizada para poder elevar el agua a cotas superiores a las de su curso natural y permitir el riego en zonas altas como sucede, por ejemplo, en la vega que se abre una vez que el Júcar atraviesa El Picazo, este artefacto parte de un par de ruedas unidas en paralelo que giran sobre un mismo eje y entre las cuales se incorporan, en todo su perímetro, unos recipientes llamados cangilones. Fabricados en madera, barro o metal, los cangilones se llenan al pasar por debajo del nivel del agua y se vacían al llegar a la parte superior, vertiendo lateralmente su valiosa carga en una canalización preparada al efecto en la zona alta. La singularidad de este ingenio tradicional, instalado casi siempre en pequeños cauces o acequias de derivación, es que no solo permite regar tierras más altas que el

cauce sino que, para hacer ascender el agua, se utiliza la propia fuerza del agua.

Este tipo de norias, habitualmente de grandes dimensiones pues servían para superar desniveles de cierta importancia (hasta 6 y 8 metros), eran infraestructuras comunales cuyo mantenimiento competía al grupo de regantes. El municipio de L'Alcúdia conserva la noria de San Antonio, una de las muchas que hubo en funcionamiento en la región: estuvo cerca de un siglo en funcionamiento dentro de la Acequia Real del Júcar y hoy se puede ver en un parque, convertida en monumento a su pasado agrícola. Diseminadas por toda La Ribera hay restos de otras norias, pero la más singular se encuentra río arriba; es un artefacto construido en el siglo XVIII y que aún se conserva en uso; está situado en el cauce del Cabriel, tributario del Júcar, dentro de Casas del Río, una pedanía de Requena situada en el límite de Albacete con Valencia, donde la noria aún da servicio a los regantes de 19 hectáreas de huerta próximas.

La instalación de norias se solía completar con pequeñas represas, azudes, compuertas y, por supuesto, canalizaciones que llevarían el agua hasta el terreno preparado para el riego.

Arrozal según una litografía del siglo XIX, época en la que este cultivo protagonizó una gran expansión





Los canales de riego, desarrollados en la época romana, fueron mejorados durante la etapa islámica, tomando desde ese momento el nombre de **acequias**. Reparadas y ampliadas en distintos momentos históricos, las acequias tenían y aún tienen una importancia especial. En el informe antes citado que describía la situación en el cauce del río tras la grave avenida de 1864 se hace un repaso de la acequias que en ese momento se abrían en el Júcar desde su nacimiento y nos permite hacernos una idea de la importancia de esta infraestructura en el momento: la primera se situaba en la provincia de Albacete, a unos 10 kilómetros de Villalgordo del Júcar para, según los autores, fertilizar “una larga pero estrecha faja de huertas que se extienden a todo lo largo de la orilla”, había dos más antes de llegar a Valdeganga, una en la ribera de Alcazarejos, dos en las proximidades de Alcalá del Júcar y otro par de ellas cerca de Jalance. Desaparecían las acequias mientras el río atravesaba la zona escarpada que hay hasta Tous pero, a partir de esta localidad, el número de acequias se multiplicaba para regar el espacio más fértil de cuantos atraviesa el Júcar.

La acequia tradicional no era más que un importante canal abierto en la tierra y que, a lo largo de su recorrido, tenía diferentes subdivisiones (lenguas y partidores) destinadas a hacer llegar el agua a todos los rincones deseados. Para derivar hasta ella el agua del río, se construían azudes, pequeñas presas que en sus orígenes eran barreras construidas en sentido oblicuo y confecio-

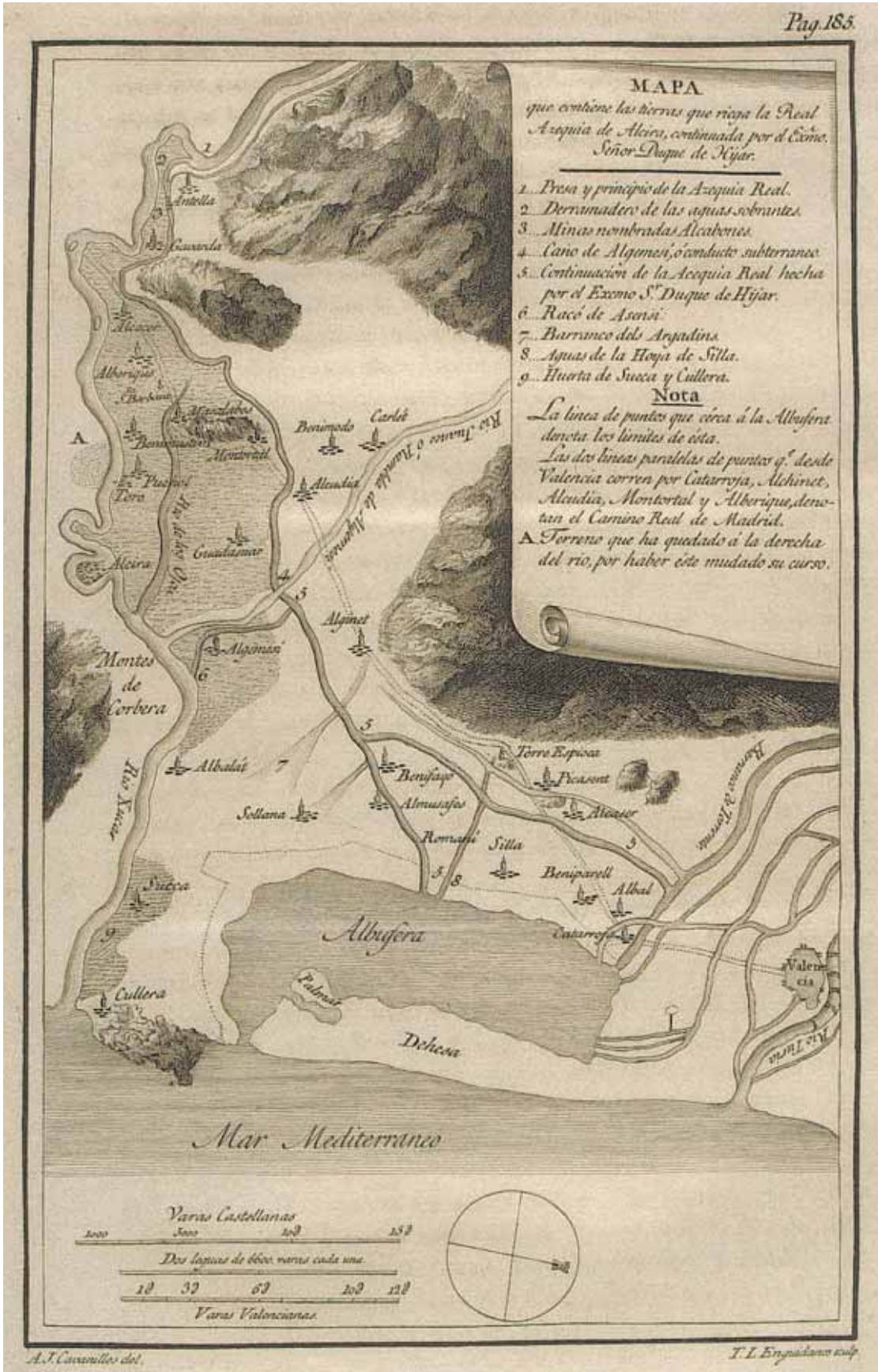
nadas con troncos, piedras, cañas y ramas; eran muy frágiles en cuanto había crecidas, por lo que requerían un mantenimiento frecuente, aunque también es cierto que el material utilizado no resultaba costoso. Con el tiempo, los azudes pasaron a ser de mampostería y sillares de grandes dimensiones que se reforzaban con contrafuertes.

En el extremo del azud hacia el cual se deriva el agua se colocaba la gola, es decir, la construcción que daba acceso a la acequia propiamente dicha. Se fabricaba con sillería y argamasa y se completaba con compuertas de madera. También era frecuente que sobre la gola hubiera algún recinto cerrado que en más de un caso servía como vivienda de la persona o familia encargada del mantenimiento y la vigilancia de esta infraestructura.

De todas las acequias históricas de este río, la más significativa de todas es la **Acequia Real del Júcar**. Esta acequia fue una apuesta decidida del rey Jaume I por la expansión del regadío en la tierra valenciana recién conquistada detrás de la cual es fácil ver razones políticas: el monarca consideraba que esta agricultura de altos rendimientos podría atraer y ayudar a fijar a una población cristiana que resultara fiel a su liderazgo. Se construyó a mediados del siglo XIII, entre los años 1258 y 1269, y recibió el nombre de Acequia de Alberic en un principio, para poco después pasar a denominarse Real Acequia de Alzira. Su construcción permitió ampliar notablemente la superficie regada en la Ribera Alta pero, en realidad, sus objetivos ini-

Sueca, capital de la Ribera Baja, mantiene aún hoy una economía basada en el cultivo de arroz, naranja y hortaliza que depende del control ejercido sobre el Júcar

El azud de Antella, perteneciente a la Acequia Real del Júcar, en una imagen de los años 70 del pasado siglo



MAPA

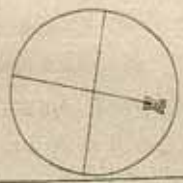
que contiene las tierras que riega la Real Acequia de Alcaia, continuada por el Excmo. Señor Duque de Híjar.

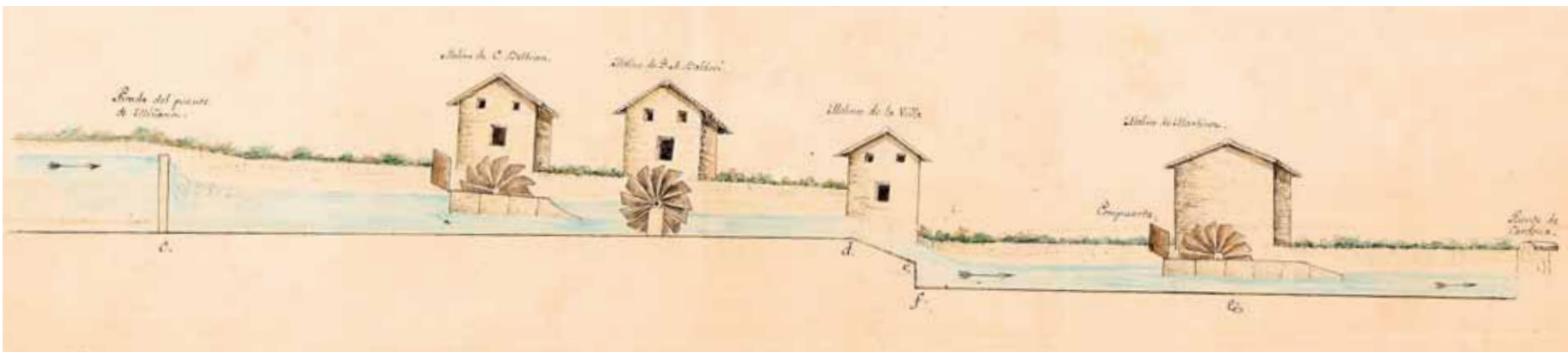
1. Presa y principio de la Acequia Real.
2. Derramadero de las aguas sobrantes.
3. Minas nombradas Alcabones.
4. Cano de Algemesi, ó conducto subterraneo.
5. Continuación de la Acequia Real hecha por el Excmo S. Duque de Híjar.
6. Raco de Asona.
7. Barrunco del Argadins.
8. Aguas de la Hoja de Silla.
9. Huerta de Sueca y Cullera.

Nota

La línea de puntos que cerca á la Albufera denota los límites de ésta.
 Las dos líneas paralelas de puntos q. desde Valencia corren por Catarroja, Alchinet, Alcaidia, Montortal y Alberique, denotan el Camino Real de Madrid.
 A Terreno que ha quedado á la derecha del rio, por haber éste mudado su curso.

Varas Castellanas				
3000	5000	2000	1500	
Dos leguas de 6666 varas cada una.				
10	30	60	200	120
Varas Valencianas				





ciales eran mucho más ambiciosos pues la idea inicial del monarca era irrigar también la Ribera Baja uniendo finalmente ese regadío con el que ya existía en la Huerta de Valencia. Las razones por la que se paralizaron las obras hay que buscarlas primero en las sublevaciones musulmanas, luego en el fallecimiento del propio rey y más adelante en distintos intereses comerciales, como detalla el estudioso Tomàs Peris Albentosa en su estudio sobre la Acequia Real.

La conclusión de la obra se hizo esperar más de cuatrocientos años y llegó con el reformismo ilustrado y de la mano del duque de Híjar quien, en 1771, obtuvo una concesión administrativa para consolidar y mejorar el trazado de la parte antigua de la acequia, completar la parte nueva, entre Algemés y Albal. Esta nueva obra se concluyó entre 1808 y 1815 y, además de consolidar el nuevo nombre de Acequia Real del Júcar, permitió intensificar el regadío en el primer tramo y extenderlo notablemente más abajo en una de las ampliaciones agrícolas más ambiciosas de la España ilustrada. Las consecuencias fueron muy importantes y abarcaron desde el cambio de los cultivos, con un crecimiento importante de la superficie destinada al arroz primero y luego a la naranja, hasta los cambios en la propiedad de la tierra que terminarían por redundar en la estructura económica y social de toda la región. En memoria de su origen y vicisitudes, la fachada de la casa de compuertas luce hoy una placa en la que se puede leer el siguiente texto: "Le debo mi principio al Rey D. Jaime / Al Justo D. Martín su privilegio / Y la gloria de verme concluida / al monarca mayor Carlos Tercero".

Hoy, en el siglo XXI, la Acequia Real del Júcar ha vivido sucesivas mejoras y una importante modernización que ha sido posible, fundamentalmente,

por la presencia de la nueva presa de Tous que permite la utilización de los más modernos sistemas de riego localizado.

La fuerza hidráulica: el impulso que no cesa

En los modos de vida tradicionales, el uso del río no se restringió al ámbito agrícola sino que se extendió hacia la industria, que vio en la fuerza de su corriente un aliado perfecto. El motor eléctrico acabaría con ellos a finales del XIX, pero para entonces, **los molinos hidráulicos** llevaban siglos aprovechando la energía del Júcar, de sus tributarios y sus acequias.

Estas maquinarias terminaron por hacerse omnipresentes a partir de la Alta Edad Media, pero ya eran conocidas y utilizadas durante el Imperio Romano. De hecho, Vitruvio describió en el siglo I a.C. varios tipos de molinos dos de los cuales se utilizaron con escasas alteraciones en el entorno del Júcar durante siglos.

El funcionamiento de un molino implicaba canalizar la corriente a través de una acequia o caz cuyo desnivel crecía a lo largo de varios metros; allí se almacenaba con la ayuda de compuertas y se dejaba caer en el momento deseado. Evidentemente, el molino no consumía agua pero necesitaba un caudal mínimo para su funcionamiento, por lo que las legislaciones tradicionales solían reservar para ellos una cantidad mínima de agua. Aunque no fue así en todas partes: en la Ribera, donde la economía se basaba en el regadío, el papel de estos ingenios era subsidiario, de modo que los molinos no tenían caudal asegurado y no ocupaban cabeceras importantes. A pesar de ello, en pleno siglo XVIII y solo en la Acequia Real del Júcar, llegaron a contabilizarse hasta 26 molinos con 41 muelas.

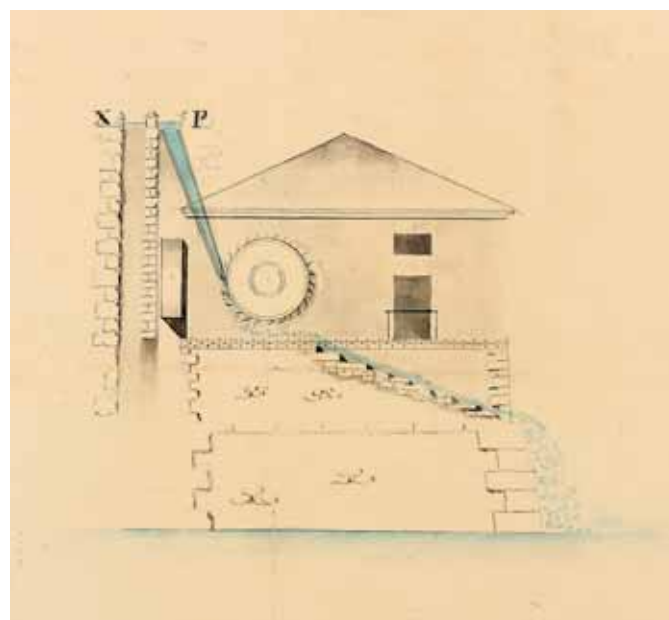
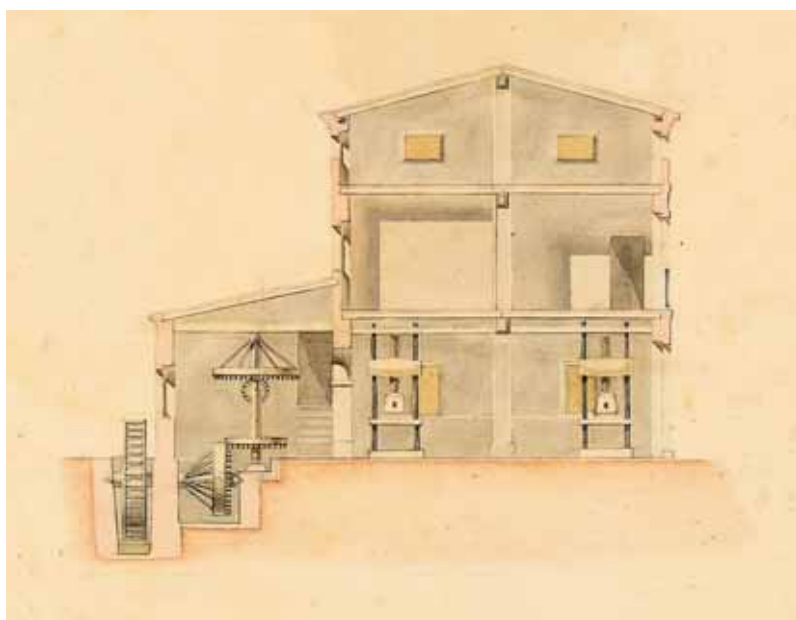
Plano del proyecto de prolongación de la Acequia Real en el siglo XVIII

Detalle de un plano de 1853 correspondiente a la acequia mayor de la villa de Sueca en el que se puede observar el aprovechamiento del agua para sucesivos molinos harineros

Los molinos estaban dedicados a la fabricación de harinas y piensos principalmente. Pero una vez conocida la forma en que se podía aprovechar y transmitir la fuerza de las aguas, su uso se hizo más intenso y diverso. Así hubo algunos molinos en la cuenca del Júcar que, convenientemente adaptados, sirvieron para las ferrerías, que utilizaban la fuerza del río para mover sus martinetes. El principio de la rueda hidráulica se usó también para cardar lana y abatanar paños, para serrar madera, fabricar papel, triturar cortezas de roble, prensar aceitunas, pulir armas, fabricar alumbre y preparar la cebada para fabricar cerveza. Tam-

bién se usó, en el tramo final del Júcar y una vez que el cultivo del arroz fue extendiéndose por la Ribera, para el descascarillado de este grano, lo que implicó en muchos casos la construcción de maquinaria mixta que tanto podía servir para esa tarea como para convertir el trigo en harina.

Uno de los artefactos emparentados directamente del molino harinero es **el molino trapero o batán**. Dedicado en exclusiva al tratamiento de los tejidos ya fueran de lana o de fibras vegetales, tuvo una gran importancia en la economía de la zona alta y media del Júcar durante la Edad Media. El tra-



Detalle de planos en los que se pueden ver tipologías de molinos que fueron proyectados a mediados del siglo XIX en el río Sellent, tributario del Júcar.

A la izquierda, uno destinado a la fabricación de papel (1846); a la derecha se corresponde con un batán (o "artefacto para trabajar las lanas" (1849).

tamiento de los tejidos consistía en lavar el paño para liberarlo de aceites y polvo y posteriormente introducirlo en un recipiente de madera o piedra donde se ponía una solución de jabón o de greda para golpeado durante varios días. Hasta el siglo XII, esta tarea la realizaban los propios artesanos bien con los pies, calzándose gruesos zuecos, o a mano con ayuda de mazos. Este trabajo caro y lento, que resultaba imprescindible para compactar y suavizar los tejidos del momento, se transformó radicalmente con la implantación de los batanes, que utilizaban la energía capturada del río por una turbina hidráulica para mover unos grandes mazos de madera.

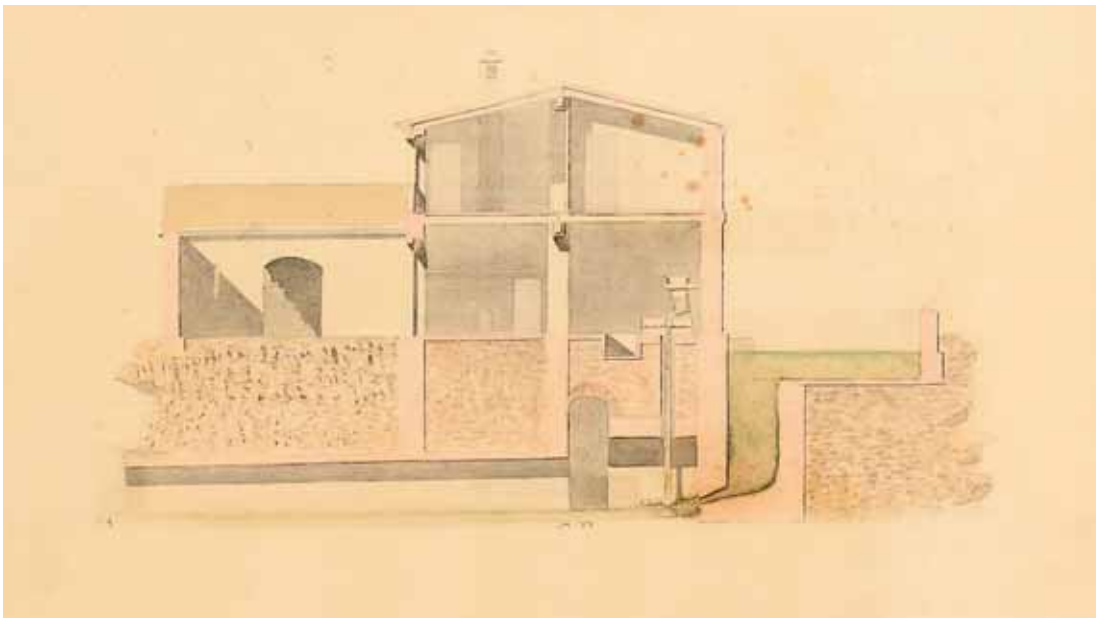
La introducción de los batanes hidráulicos tuvo una importante repercusión en toda la economía europea. En las zonas rurales se utilizaban para afinar los tejidos más bastos pero en las proximidades de los núcleos urbanos la artesanía de lujo se convirtió en protagonista. La ciudad de Cuenca se alzó entonces como uno de los grandes centros pañeros de Castilla durante la época medieval, ya que contaba con la ventaja de unir a su gran economía ganadera la presencia inmediata del río Júcar y de su afluente el Huécar, en cuyos cauces se instalaron numerosos artefactos de este tipo. Los paños de lana con acabados finos fueron el principal motor económico de la ciudad y uno de los

responsables de la gran prosperidad que Cuenca vivió hasta finales del siglo XVI.

Varios siglos después haría su aparición una innovación tecnológica trascendental que se basaba, sin embargo, en el viejo invento de la rueda hidráulica: **el generador eléctrico**. Así, la turbina que antes había activado muelas, mazos o martinets mecánicos se convirtió en generador de electricidad y muchos de los viejos molinos (traperos, harineros, arroceros) e ingenios hidráulicos de otros tiempos se reconvirtieron en "fábricas de electricidad" durante los primeros años del siglo XX.

des compañías que preferían centrarse en producir mayor cantidad de energía para enviarla por un lado hasta Madrid y por otro a Valencia e incluso hasta Cartagena.

El uso de los saltos de agua se hacía en aquel momento por concesiones administrativas. En 1912, la compañía Hidroeléctrica Española adquirió la del salto de Villora, en el río Cabriel, y en poco más de tres meses, tenía a pleno rendimiento una central que se amplió en sucesivas ocasiones para aumentar su capacidad. La Sociedad Eléctrica de Castilla, en cambio, planificó a una escala mayor



Para ello se podía utilizar el mismo mecanismo: el azud, la desviación de agua por una acequia ganando cota respecto del río y la turbina.

Los inicios de la producción hidroeléctrica en la cuenca del Júcar estuvieron protagonizados por empresas de diferentes tamaños. Por un lado se encontraban los pequeños emprendedores particulares que, con inversiones relativamente bajas y utilizando los saltos más pequeños o las instalaciones tradicionales, producían baja tensión y destinaban buena parte de la energía generada al alumbrado local y comarcal. Ese era un mercado que no interesó durante algún tiempo a las gran-

su primera gran actuación en 1920: en plena sequía de Cuenca, construyó la central de Villalba de la Sierra, un conjunto que afectaba tanto al arroyo y la laguna de Uña como al Júcar y que incluía el pantano de la Toba. La gran obra, modélica en su momento, fue inaugurada oficialmente en 1926.

A finales de los años veinte, la del Júcar era la segunda cuenca española en producción eléctrica y la administración central tenía interesantes ofertas empresariales encima de su mesa para conceder el acceso a tramos completos de los ríos Júcar y Cabriel. Sus cabeceras escarpadas eran

Plano de un molino harinero en el río Sellent (1848)



Interior de un molino de arroz de las primeras décadas del siglo XX

perfectas para acometer proyectos hidroeléctricos de gran envergadura por lo que sus aguas estaban dejando de ser consideradas como simples recursos locales. Los proyectos para la Serranía de Cuenca, cada vez más ambiciosos, siempre incluían presas. Las presas eran imprescindibles para lograr economías de escala en la generación de electricidad y asegurar el suministro a futuros proyectos industriales, pero su planificación y, sobre todo, la idea de dejarlas en manos de empresas privadas, despertó el malestar aguas abajo, en los regantes que tradicionalmente habían utilizado esta cuenca hídrica para alimentar sus cosechas.

Armonizar los intereses de regantes e industriales y regular los recursos públicos pasó entonces a ser una prioridad administrativa y una de las razones que llevó, después de varias propuestas legislativas de distinto signo, a la creación de las Confederaciones Hidrográficas. La que se ocupaba de agrupar a los usuarios del Júcar se creó en 1934 y tuvo su asamblea constituyente en 1935. Su primer objetivo fue claro: regular los caudales del Júcar y sus afluentes Cabriel y Magro con la construcción de los embalses de Alarcón, Tous, Enguídanos y Forata que se ocuparían de abastecer tanto a la agricultura como a la industria.

Los proyectos citados, aunque previstos con ante-

rioridad, no se pudieron acometer hasta finalizada la Guerra Civil. Pero una vez finalizados, la administración hidrológica no se paralizó sino que, con el tiempo, terminaría por crear una importante red de embalses. Todos ellos, los iniciales y los más tardíos, tuvieron objetivos múltiples pues, además de generar energía y atender a la agricultura, tuvo entre sus objetivos primordiales el de defender las tierras más bajas de las frecuentes avenidas del Júcar.

Embalses: en busca de protección

Si las avenidas de los ríos han sido un fenómeno general en el ámbito mediterráneo, el currículum del Júcar es el de un auténtico devastador pues en su entorno se dan una serie de circunstancias naturales que propician las crecidas; estas van desde el propio clima de la región, árido y con una pluviometría desigual, hasta su compleja orografía y la coincidencia, en un breve trecho de su cauce, de importantes afluentes. En todo caso su tendencia a la inundación es un fenómeno bien conocido para la población que habita en sus orillas, especialmente en su curso bajo.

Desde el siglo XVII hay expertos analizando esta tendencia al desbordamiento por parte del Júcar y estudiando las posibles soluciones a un problema que se repite con insistencia. De hecho, desde que se tienen registros históricos tenemos constancia de inundaciones, avenidas y crecidas de intensidad variable. En unos casos, los más habituales, son desbordamientos relativamente mansos que, según el estudioso Peris Albentosa, son menos conocidos y deben ser considerados como benéficos pues cuando sucedían, "la corriente turbia, cargada de nutrientes, superaba los márgenes del río e inundaba el llano sin causar desperfectos dignos de mención". Pero no todo era aporte frecuente de limos fértiles porque, cada cierto tiempo, el Júcar se presentaba en violentas avenidas. Las más dañinas pueden seguirse claramente en los anales históricos por su poder destructor y por el rastro de peticiones de ayuda que dejan en los registros administrativos, tal y como sucedió con las inundaciones acaecidas en los años 1473, 1517, 1571, 1589, 1632, 1776, 1779, 1802, 1805, 1864 y 1982.

"Pasada la región montañosa, libre el río de las barreras naturales que le contenían y no pudiendo su cauce dar cabida a las aguas, empezó a extenderse por la gran llanura que constituye la Ribera del Júcar, inundando los campos, villas y lugares, sembrando la consternación por todas partes y llenando de miseria y desolación a todos los pueblos por donde pasaba". Con estas palabras expu-

sieron el desastre de los días 4 y 5 de noviembre de 1864 al Ministerio de Fomento los ingenieros José Gómez Ortega, Evaristo de Churruca y Francisco Lizárraga. Fue una de las riadas históricas más devastadoras, una de las mejor documentadas y la que dio origen, por la época histórica en la que se produjo, a un cambio de mentalidad que exigía para la zona de la Ribera más defensas en las poblaciones, mejor mantenimiento en las infraestructuras y vigilancia permanente del Júcar.

En su *Entre naranjos*, Blasco Ibáñez insiste en restar importancia a las avenidas del río y cuenta cómo, dentro de la ciudad de Alzira, "nadie sentía miedo ni abandonaba su casa para pasar los puentes buscando un refugio en tierra firme". Tal era su percepción de la realidad en la Ribera, pero lo cierto es que los tiempos estaban cambiando y de alguna forma lo muestra el literato, pues su protagonista masculino, diputado en Cortes, tiene una

única intervención en el Congreso y es para "pedir al ministro de Fomento más actividad en el expediente de las obras de defensa de Alzira contra las invasiones del río". De hecho, es sabido que en las mismas fechas en las que se publica la novela, Alzira está recibiendo ya, durante la época de lluvias, telegramas que informan a sus autoridades sobre la evolución de la crecida del Júcar para poder alertar a la población en caso necesario.

Era el inicio de una filosofía que buscaba la protección de la población frente a las embestidas del río. Una filosofía que evolucionaría a lo largo del siglo XX y que terminó por imponer presas no solo para nutrir campos y bastecer saltos hidroeléctricos, sino también dispuestas para laminar las peores avenidas. Y la que ahora nos ocupa, la de Tous, es la que nació para que la Ribera pudiera, por fin, dejar de temer la ira cíclica del Júcar.

Detalle de un plano de 1826 donde se indican los daños causados por una avenida sobre el azud de Cullera y su propuesta de reparación







02

Un plan para defender la Ribera

Antecedentes y estudios previos para un ambicioso proyecto

La Ribera, esa llanura amplia y fértil que el Júcar contribuyó a crear con su aporte de sedimentos, es considerada como una tierra privilegiada gracias, precisamente, a la presencia benefactora del río y a la lucha y el esfuerzo de los ribereños. Pero también ha vivido con la amenaza de sus cíclicas avenidas propiciadas por la orografía y el clima de la región.

La crecida que el Júcar protagonizó en el otoño de 1864 marcó un punto de inflexión. A partir de esa fecha se incrementaron estudios, estrategias, propuestas y planificaciones encaminadas a proteger de este fenómeno a toda la comarca, sus gentes y sus bienes.

La actual presa de Tous es el resultado de un esfuerzo largo y sostenido. Su particular proyecto es una respuesta en la que se resumen la experiencia acumulada durante años y un conjunto de ideas innovadoras, profundos estudios sobre un entorno lleno de dificultades para la construcción y la propuesta de planteamientos no convencionales para sortearlos y lograr un único fin: la defensa de la Ribera.

02

Un plan para defender la Ribera

Antecedentes y estudios previos para un ambicioso proyecto

“...las fuertes lluvias acaecidas el día 4 de noviembre de 1864 en la provincia de Valencia y en particular en el juzgado de Ayora, aumentaron el caudal de aguas del Júcar de una manera tan extraordinaria que produjeron la mayor avenida que registran las crónicas y archivos del país entero [...] El agua caía con tanta violencia, según lo referido en un caserío situado en el término de Ayora, ya confinado con el de Enguera, que varios carros y aperos de labranza de mucho peso que existían junto a la huerta de la casa, fueron arrastrados violentamente al fondo del barranco, a pesar de ser insignificantes las vertientes que abarcan a dicha casa y no estar edificadas en ningún pliegue o talweg del terreno donde pudieran recogerse las aguas; todos los campos puestos en cultivo quedaron despojados de la capa vegetal y productora que los cubría, dejando en unas partes la roca desnuda y en otras llenas de guijarros y grandes peñones arrastrados de las cimas y laderas de los cerros”. Así relataron los ingenieros de caminos José Gómez Ortega, Francisco Lizarraga y Evaristo de Churruca las inundaciones que el Júcar protagonizó en 1864 en un extenso informe encargado por el Ministerio de Fomento de su época y que hoy se puede consultar en una edición que publicó la Confederación Hidrográfica del Júcar en 1988.

Aquella de 1864 fue una avenida grave, pero no constituyó, sin embargo, un fenómeno desconocido. A lo largo del tiempo, han sido muchas las ocasiones en las que el río Júcar ha mostrado su poder destructor; tanto que, ya desde la época de la dominación árabe, parece que su nombre era asociado a su poder, pudiendo traducirse *Xuquer* como “devastador”. Una realidad constatable desde siglos atrás, en referencia a las afecciones sobre tierras, medios

materiales, animales y personas, producidas por sus inundaciones.

De las riadas históricas sucedidas se conservan documentos en los archivos de las poblaciones ribereñas. Una de las más famosas es la citada de 1864, y en el estudio de la misma se data como riada “más antigua de la que se conserva memoria en los archivos”, la que se produjo el 27 de septiembre de 1517, en la que desapareció el pueblo de Alcocer.

Otras riadas posteriores constatadas son las de los años 1753, 1766 (el 26 de septiembre) y la de 1779 (el 4 de octubre), calificada como “una de las más terribles avenidas y que dejó más funesta memoria en los habitantes de la Ribera del Júcar”; hubo más en 1785 (el 15 de septiembre), en 1791 (el 30 de septiembre), en 1801 (el 17 de noviembre) y en 1802 (en marzo). La de 1805 (el 17 de noviembre) fue definida como “la mayor que han visto aquellos naturales, antes de ocurrir la última de efectos tan lamentables” y causó daños en pueblos como Cofrentes, Millares, Cortes, etc y en Alzira “arruinó sesenta y una casas y se apuntalaron más de doscientas, llegando el agua en sus calles desde 10 a 14 palmos” (2,10 a 2,94 m). Posteriormente a esta última se constata una serie de riadas menores hasta llegar a la inundación de 1864.

Todas estas referencias sobre inundaciones y otras posteriores plantearon la necesidad de establecer un plan que permitiera proteger las poblaciones y, al mismo tiempo, aprovechar los recursos hidráulicos de la cuenca del Júcar tanto para el regadío como para la producción de energía eléctrica. Su inicio, como *Plan de Estudios*, se amparó en la ley de 9 de septiembre de 1932 sobre construcción del



embalse de Alarcón y otras obras complementarias para la regulación del río Júcar y que englobaba así mismo el estudio de la Presa de Tous. Como consecuencia de este plan integral y los estudios posteriores, se decidió la construcción de diversas presas tanto en el río Júcar como en sus afluentes. Así se fueron alzando en sucesivos momentos los embalses de Alarcón (terminado de construir en 1955) y el

de Contreras (de 1975) en su tributario el Cabriel; aguas abajo estarían en el Júcar, por este orden, Molinar (de 1951), Embarcaderos (de 1920), Cortes II (de 1988), Millares (la presa antigua es de 1928 y la nueva de 1988) y Naranjero (1989). El último de todos, en la zona más baja posible del curso del río, se dispuso el de Tous.

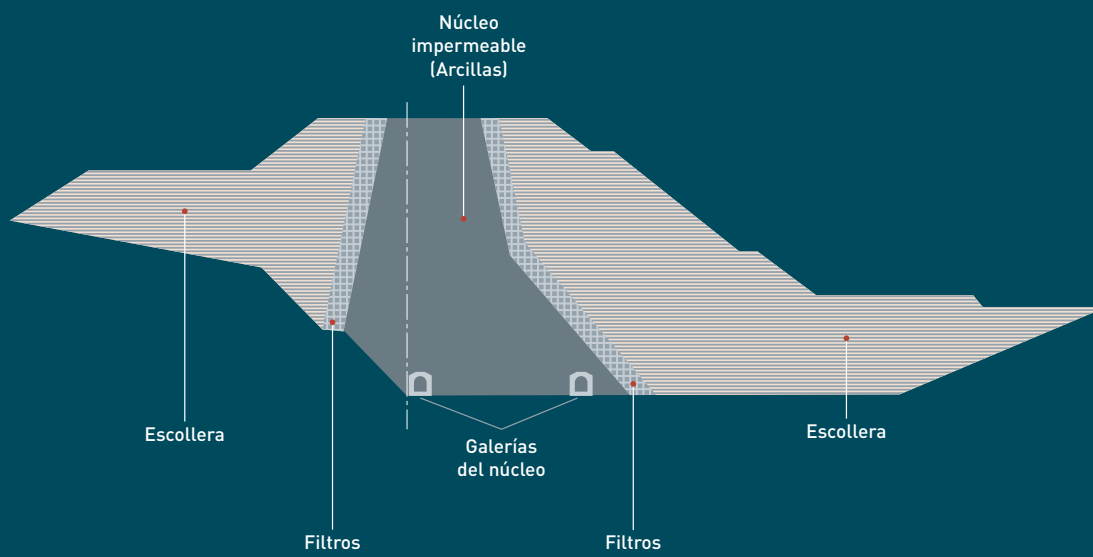
Embalse de Tous, se ve el campanario de la iglesia de la antigua población de Tous

ANTIGUA PRESA DE TOUS

CUERPO DE PRESA / PLANTA GENERAL

- 1 Toma Canal Júcar-Túria
- 2 Desagüe de fondo
- 3 Canal de llegada
- 4 Aliviadero
- 5 Canal de salida

SECCIÓN TIPO DE PRESA DEFINICIÓN GEOMÉTRICA



↙
río Escalona

río Júcar

1

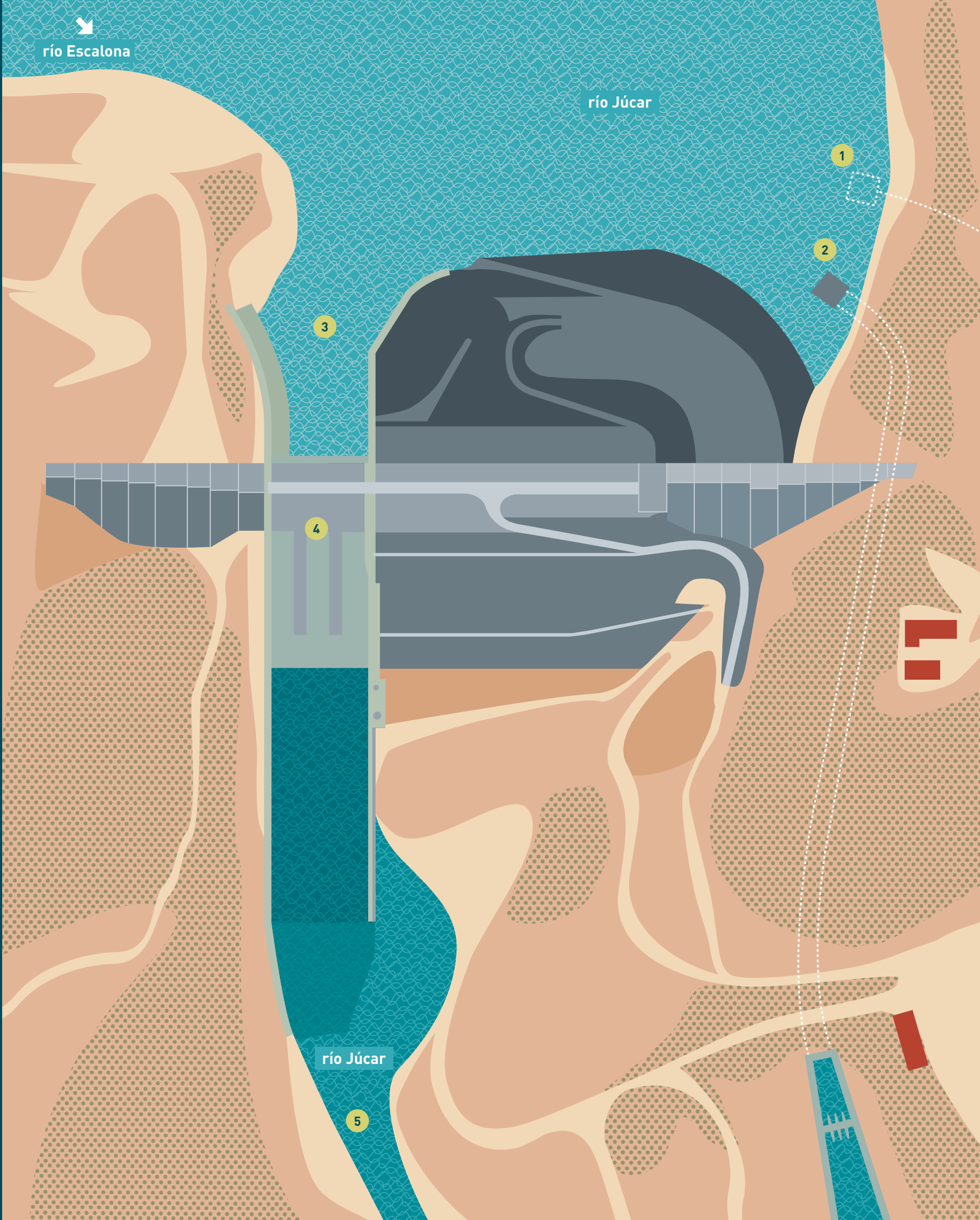
2

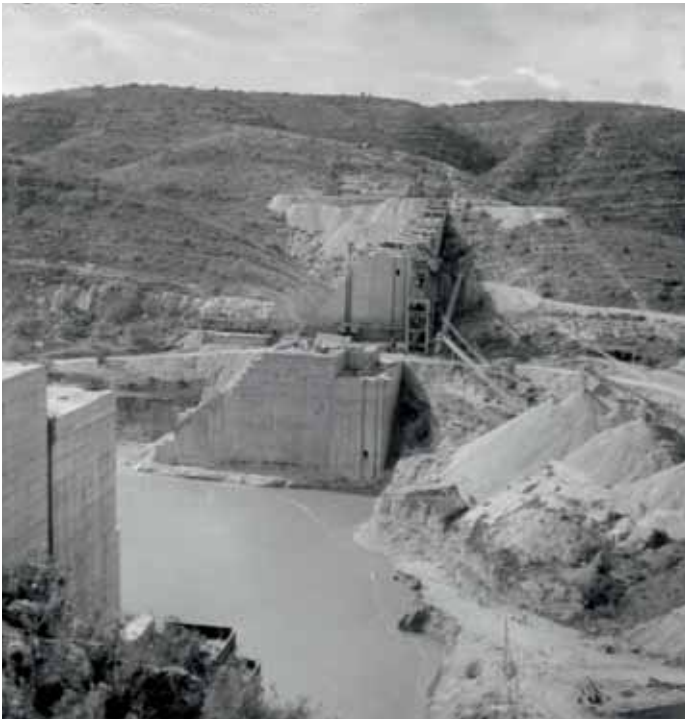
3

4

río Júcar

5





Construcción de la antigua presa de Tous

Una primera presa en Tous

Esta presa fue concebida para la laminación de avenidas además de la regulación de las aportaciones del río Júcar. Los primeros trabajos para construirla se iniciaron en octubre de 1958, con una solución de presa de hormigón de alrededor de 80 m de altura sobre el cauce. Durante la construcción, las condiciones geotécnicas del terreno de cimentación, situado entre las dos fallas que delimitan el cauce, obligaron a paralizar las obras en diciembre de 1964. Solo se reanudarían cuando, diez años después, el 18 de abril de 1974, se aprobó el *Proyecto Reformado del Replanteo del embalse de Tous en el río Júcar (Valencia). Solución presa de escollera. Primera fase hasta cota 84 de embalse*. En este nuevo proyecto se incorporaron varios e importantes cambios: por un lado la parte central de la presa, inicialmente de hormigón, fue sustituida por un dique de materiales sueltos con núcleo de arcilla y espaldones de escollera; además se desplazó el aliviadero a la margen derecha, sobre los primeros cinco bloques construidos con altura reducida; por último se decidió construir la presa en dos fases. Para la primera fase se fijó la coronación a la cota 98,50 y el máximo nivel normal del embalse en la cota 84,00. Su nivel de coronación definitivo, a alcanzar en una segunda fase, fue fijado a la cota 142 mientras que su máximo nivel

normal lo fue a la cota 133. La primera fase debía permitir, por una parte, la consolidación de los terrenos de cimentación de la presa en su parte central, y por otra, la observación del comportamiento de la presa para alturas menores que la definitiva y, por tanto, bajo riesgos menores.

La construcción de las obras de la primera fase estuvo prácticamente finalizada en marzo de 1978, mes en el que se inició su puesta en carga, alcanzándose el máximo nivel normal de embalse en noviembre de 1979. Durante el tiempo en el que la presa de Tous estuvo en servicio, su comportamiento fue correcto y algunos problemas surgidos en este tiempo, de filtraciones en su mayoría, fueron corregidos satisfactoriamente.

Hasta octubre de 1982. En aquella fecha, la aparición de la llamada gota fría, un fenómeno meteorológico capaz de provocar precipitaciones de una intensidad y duración excepcionales, produjo una avenida extraordinaria, cuyo hidrograma podría asimilarse a la calculada para un período de retorno de 500 años. La avenida sobrepasó la coronación de la presa y, con ello, produjo la erosión y destrucción de gran parte de la zona central, de materiales sueltos.

Una mirada de conjunto frente al Júcar

Las actuaciones necesarias para solventar, de manera global y progresiva, avenidas catastróficas como la acaecida en octubre de 1982, así como los problemas de inundación en las cuencas media y baja del Júcar, fueron recogidas en el *Plan General de Defensa contra avenidas del Júcar*, de junio de 1985. En dicho plan se contemplan distintas actuaciones para la laminación de avenidas, una de las cuales consiste en disminuir los caudales punta circulantes. Para ello se han construido tres presas:

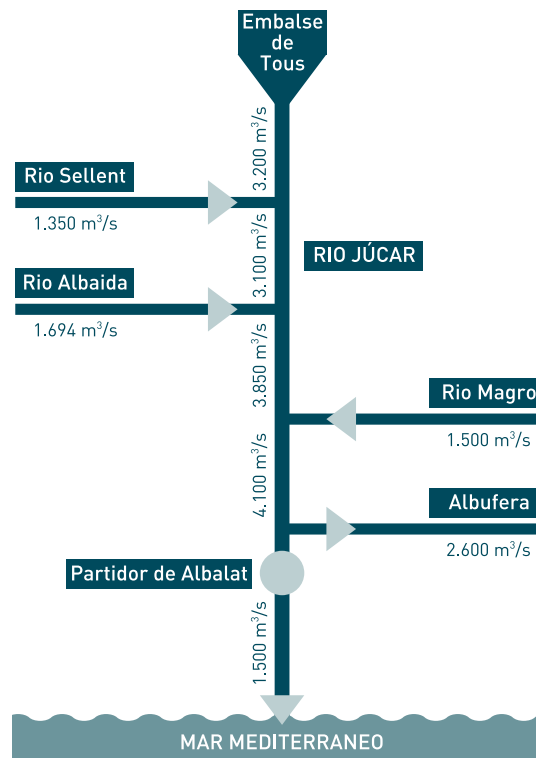
La primera, denominada Escalona, se sitúa sobre el río del mismo nombre, afluente del Júcar por la margen derecha, aguas arriba de Tous. Tiene una capacidad de embalse de unos 100 Hm³. La segunda, denominada Bellús, está sobre el río Albaida, afluente del Júcar por su margen derecha, aguas abajo de Tous y cuenta con una capacidad de embalse de 70 Hm³. Y por último, la considerada como pieza básica en el citado *Plan de Defensa*, la presa de Tous, en el emplazamiento de la presa anterior y con una capacidad a su máximo nivel normal de 378 Hm³. Las tres presas, muy próximas, tienen todas como objetivo principal el de laminar avenidas limitando los caudales circulantes.

Esquema de caudales punta correspondientes a la avenida de 500 años en el Júcar, laminada por las presas de Tous, Bellús y Escalona

En la hipótesis de avenidas con periodo de retorno de 500 años, los caudales estimados, tanto en el Júcar como en sus afluentes, fueron indicados en el *Plan de Defensa*. (figura 1.3.) Para el cumplimiento de estos objetivos, y además de las tres presas citadas, el plan incluyó también la realización de un partidor en Albalat capaz de derivar 2.600 m³/s a la Albufera, limitando el caudal de paso por Cullera a 1.500 m³/s.

El mismo plan se completaba con la prescripción de construir o recrecer una línea de motas, separada del cauce de aguas bajas, que diera protección efectiva a las poblaciones. La zona comprendida entre motas estaría sujeta a inundación, pero solo en el caso de avenidas extraordinarias. Con el conjunto de obras contempladas en el *Plan de Defensa*, la zona inundable, aguas abajo de Tous, se reduciría enormemente (Fig. 1.4) en el caso de producirse una avenida de similares características a la del año 82.

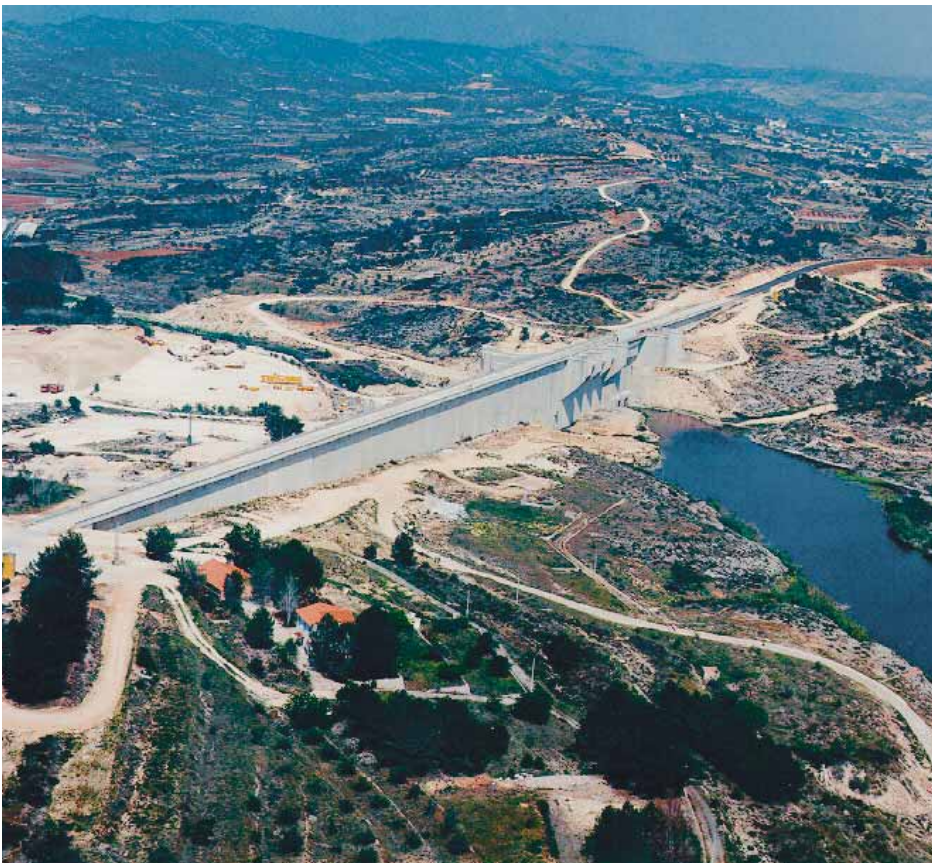
El cauce actual del río Júcar tiene una capacidad máxima del orden de 500 m³/s, considerado como límite para el "cauce de aguas bajas". Caudales superiores podrían provocar inundaciones, pero casi exclusivamente en zonas agrícolas.





Presa de Escalona

Panóramica y detalle de la Presa de Bellús



En base a estas premisas, la misión principal asignada a la Presa de Tous dentro del *Plan de Defensa* fue la de limitar el caudal punta circulante por el Júcar, a dicha altura, a $2.500 \text{ m}^3/\text{s}$ (para un periodo de retorno de 500 años) y conseguir que, sumados a los afluentes aguas abajo, no se superen los $500 \text{ m}^3/\text{s}$ para avenidas menores.

Además de lograr su objetivo primordial de laminar avenidas, la presa de Tous tiene otras importantes funciones:

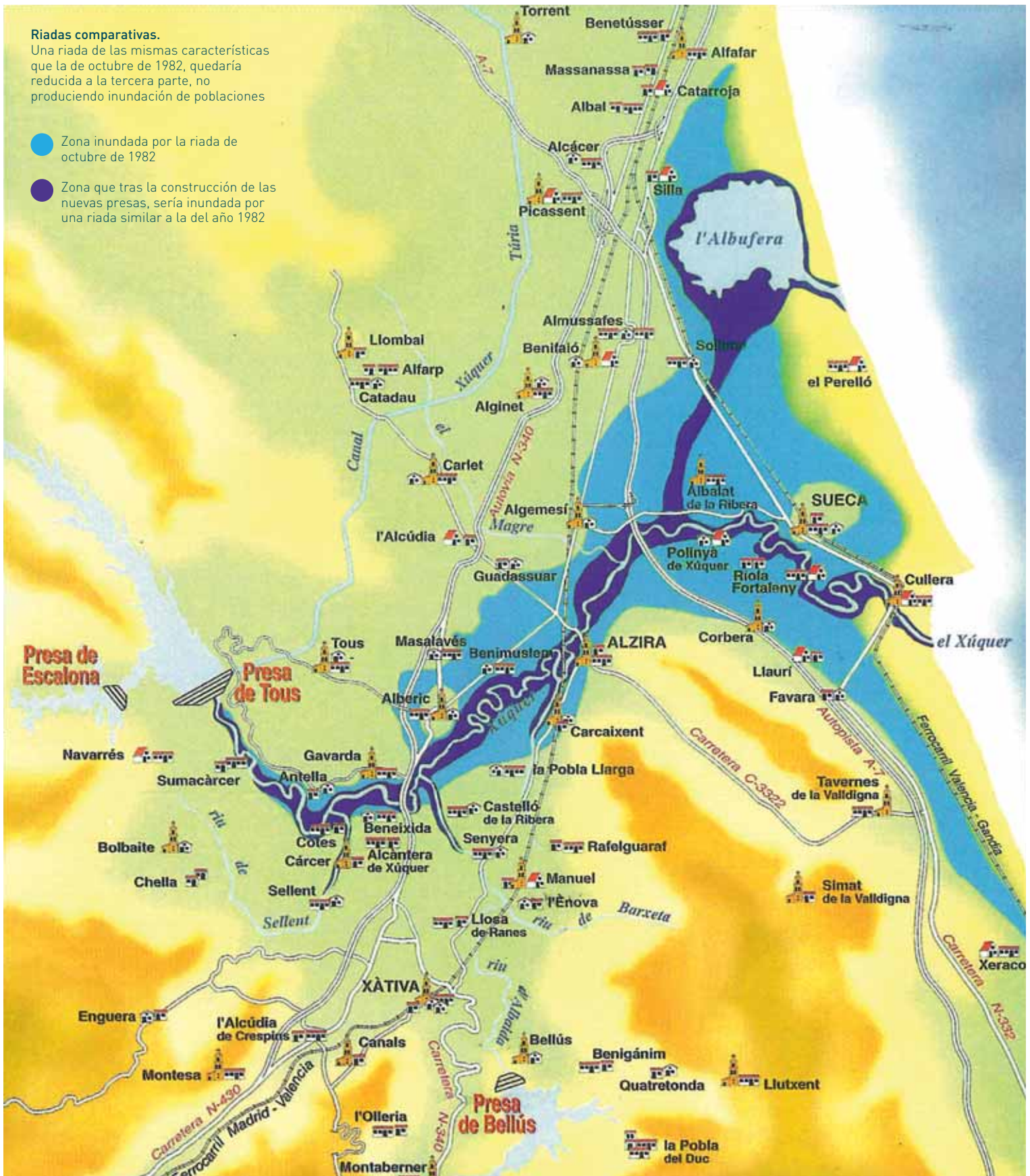
- Garantizar el suministro de agua de calidad al millón y medio de habitantes de Valencia, su área metropolitana y Sagunto.
- Hacer posible los riegos de la comarca de la Ribera y del Canal Júcar-Turia.
- Regular los caudales.
- Permitir la producción de energía eléctrica mediante dos centrales hidroeléctricas (aún sin construir) ubicadas a pie de presa.



Riadas comparativas.

Una riada de las mismas características que la de octubre de 1982, quedaría reducida a la tercera parte, no produciendo inundación de poblaciones

- Zona inundada por la riada de octubre de 1982
- Zona que tras la construcción de las nuevas presas, sería inundada por una riada similar a la del año 1982



Valores de precipitación en las proximidades de Tous			
PERÍODO T (años)	DURACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN		
	6 Horas (mm)	12 Horas (mm)	24 Horas (mm)
25	105	140	190
100	155	210	290
500	225	305	445

Rango de valores de precipitación máxima en 24 horas para distintos períodos de retorno	
PERÍODO T (años)	RANGO DE PRECIPITACIÓN (mm)
25	45 - 185
50	50 - 215
100	60 - 265
500	70 - 410
1.000	75 - 490
PMP	210 - 1.060

Distribución de precipitación y aportación por cuencas (lluvias año 82)		
CUENCA	LLUVIA (mm)	APORTACIÓN (Hm ³)
Ledaña	160	155
Reconque	365	180
Cabriel	225	305
Júcar	385	155
Escalona	470	240
Sellent	430	105

Características de las principales avenidas			
AVENIDA	DURACIÓN (H)	CAUDAL PUNTA (m ³ /s)	VOLUMEN DEL HIDROGRAMA (Hm ³)
T = 25 años	72	2.500	-
T = 50 años	72	3.000	250
T = 100 años	72	4.200	350
T = 500 años (Q máx.)	50	9.281	460
T = 500 años (V máx.)	76	6.051	688
T = 1.000 años (Q máx.)	50	12.715	635
T = 1.000 años (V máx.)	76	7.557	874
PMA* (Q máx.)	50	25.979	1.321
PMA* (V máx.)	76	14.614	1.776

Estudios sobre la hidrología

La hidrología, especialmente en todo lo relativo a estudios de avenidas, fue objeto de un minucioso análisis, teniendo en cuenta su decisiva importancia en el correcto dimensionamiento del embalse y en la seguridad de la presa.

La cuenca del Júcar que afecta al embalse de Tous es la denominada alta-media y se encuentra marcada por otras importantes obras de control en cabecera: el embalse de Alarcón, con una capacidad de 1.112 Hm³, situado en la parte alta del Júcar, y el de Contreras, con una capacidad de 852 Hm³, ubicado en el río Cabriel.

Entre el embalse de Alarcón (de carácter hiperanual, es decir, que tiene un tiempo de vaciado superior a un año) y el de Embarcaderos, el río Júcar tiene una pendiente del 0,40%, con diversas cuencas afluentes de corta longitud pero de pendiente importante, que producen caudales punta notables debido al corto tiempo de concentración. La más importante de todas es la cuenca del Cabriel (de 1.731 km²) que tiene una longitud de 266 km y una pendiente del 0,51%.

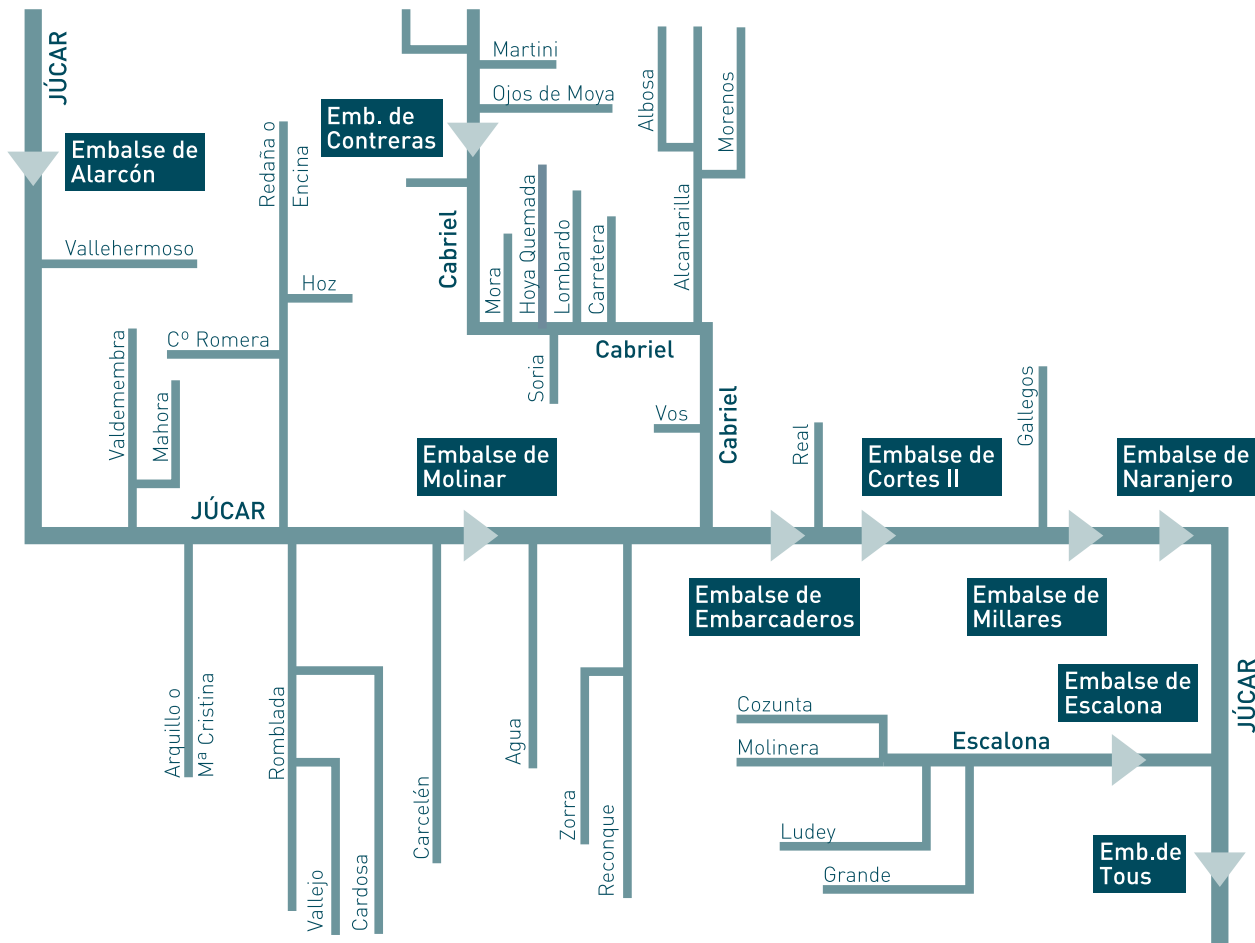
Aguas abajo, entre Embarcaderos y las proximidades de Tous, el río Júcar se encaja profundamente, alcanzando una pendiente del 0,55%. E inmediatamente antes del emplazamiento de la presa de Tous, desagua el río Escalona con una cuenca de 500 km² que, por su morfología y pluviometría, constituye un potente sistema generador de avenidas, habiéndose construido para su control la presa del mismo nombre.

A ese panorama hay que añadir otro aspecto esencial: la localización de la cuenca baja del Júcar junto al Mediterráneo constituye una ubicación idónea para ser afectada por el sector de Alborán, cuyo flujo nororiental (el más activo normalmente) produce un notable riesgo de lluvias de carácter torrencial.

Adicionalmente hay que tomar en consideración la orografía de las proximidades, que amplifica los efectos de estas situaciones, puesto que en esta zona se produce la unión de las alineaciones del Sistema Ibérico (NW-SE) y las Béticas (SW-NE). En esta encrucijada se forma un embudo concentrador de los vientos procedentes del E y NE, que contribuye a agravar los fenómenos citados.

Con respecto a **la pluviometría**, se analizaron las series históricas existentes en las proximidades de Tous. Se comprobó que las isolíneas de lluvia máxima diaria presentan una zona de máximos valores que comprende la Muela de Cortes de Pallás, la Muela de Jalance y el macizo de Caroig,

División en subcuencas



Estación de aforos

afectando a la margen derecha del río Reconque y a la cuenca alta del Escalona. También se estudiaron las precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes períodos de retorno.

Se realizó asimismo un nuevo **estudio de avenidas**, recogido en las *Normas de Explotación de la presa*, con las características se muestran en el cuadro adjunto.

Para realizar el estudio de **aportaciones** se partió de las series históricas mensuales en estaciones de aforo y de los datos de explotación de los embalses existentes. Estas series se restituyeron al régimen natural teniendo en cuenta los embalses, las derivaciones por canales y los usos consuntivos.

Con las series brutas se realizó un análisis estadístico de las mismas, con objeto de homogeneizarlas y completarlas.



Estudios sobre la geología

La forma y la tipología de la presa de Tous, igual que la morfología y el diseño de su cimentación vienen determinadas directamente por el tipo de materiales geológicos que conforman la cerrada y por su disposición estructural. Especial importancia tiene la presencia de diversas fallas: dos se encuentran delimitando ambas orillas del río —en la margen izquierda la llamada falla de Tous y en la derecha la de Sumacàrcer— y dentro de su cauce, situadas de izquierda a derecha, las



Macizo rocoso en el vaso del embalse. Vista de la Torre Vigía

denominadas del Collado, del Túnel de desvío y de los Charcos.

En líneas generales y en una primera aproximación hemos de indicar que la cerrada de la presa de Tous se sitúa en la parte oriental de la Rama Sur de la Cordillera Ibérica. Los materiales que afloran aquí son, en su mayor parte, sedimentos mesozoicos con ocasionales depósitos terciarios (originados por la tectónica del lugar), a lo que se deben sumar algunos afloramientos triásicos.

Entrando de lleno en la **litología** del lugar y revisando los materiales de izquierda a derecha encontramos:

En la ladera izquierda, al Este de la falla de Tous, aparecen terrenos correspondientes al nivel IV, una serie dolomítica inferior con baja permeabilidad que se presenta en bancos subhorizontales con pequeños buzamientos hacia el río. Inmediatamente después aparece la falla de Tous, que está caracterizada por un relleno brechoidal con bastante cemento calcáreo que en ocasiones pasa a ser arcilloso. La falla de Tous tiene un salto fundamentalmente vertical de más de 200 m. El espesor de la brecha de falla es relativamente reducido (inferior a 5 m) con una zona de influencia de escasa potencia.

La siguiente falla, la del Collado, presenta una morfología similar a la anterior pero con un salto menor. De hecho, se considera asociada a la propia falla de Tous. Aunque el material es similar, su espesor aquí no supera los 2 m.

En el tramo siguiente, hasta la falla del Túnel de desvío, el terreno está formado, sucesivamente, por calizas brechoides, calizas claras y calizas margosas con algún banco de margas. Más allá, encontramos la secuencia dolomítica de permeabilidad alta. Esta falla del túnel de desvío tiene un buzamiento de unos 70-75° hacia el W, con un espesor del orden de 5-7 m.

Entre la falla del Túnel de desvío y la de los Charcos, un nuevo cambio: ahora aparecen arcillas rojas, conglomerados y areniscas en discordancia sobre calizas claras y dolomías.

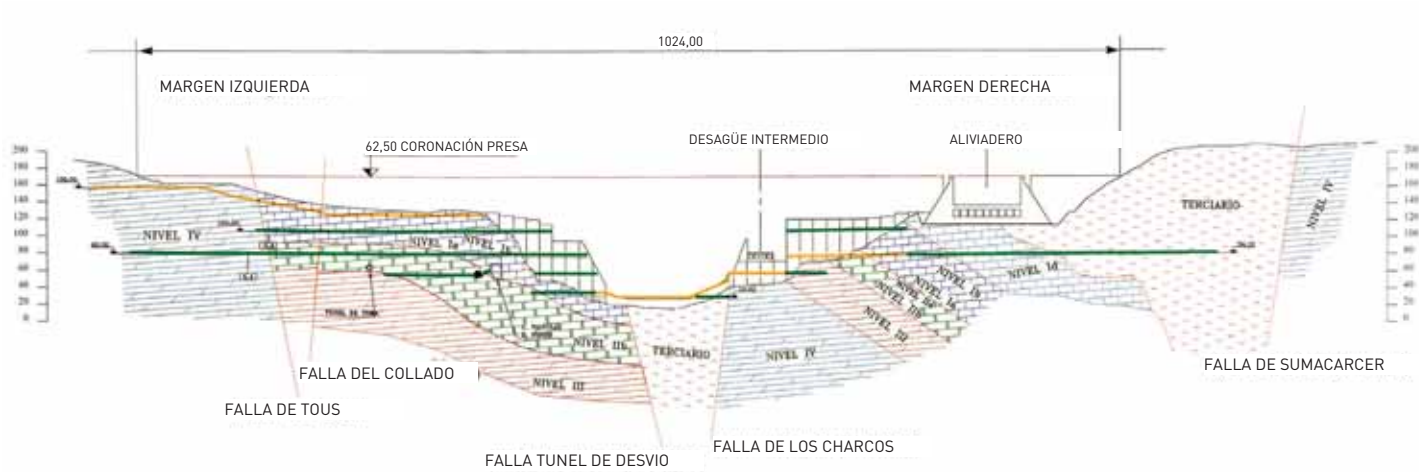
La falla de los Charcos, con un de 150 m, presenta una orientación paralela al valle, con un buzamiento hacia el E de 60° y un espesor de 6 o 7 m. El cuerpo central corresponde a una arcilla roja limosa con clastos.

Pasada la falla de los Charcos y hasta la de Sumacàrcer se dispone la mayor parte de la serie estratigráfica que forma la cerrada.

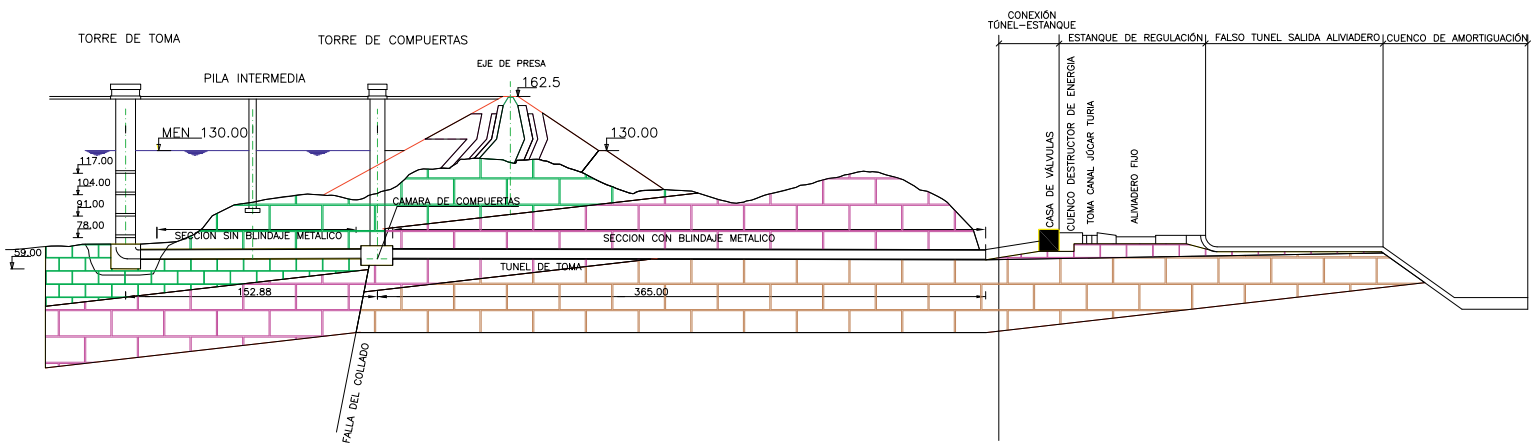
En el final del cauce aparece la falla de Sumacàrcer con un salto de unos 100 m. Presenta rumbo N-S, inclinación subvertical y relleno margoso con zonas milonitizadas llegando a tener un espesor de hasta 10 m. Como ya se detectó durante la explotación del anterior embalse, se trata de un área con valores altos de permeabilidad.

Por último, al otro lado de la falla de Sumacàrcer, encontramos el bloque levantado donde afloran las dolomías del nivel IV que, en esta zona, se presentan heterogéneas y con una alta permeabilidad asociada a dicha falla.

Corte geológico por la cerrada



Corte geológico por eje tunnel de toma



Terciario	PLIOCENO		CONGLOMERADOS, ARENISCAS, LIMOS Y MARGAS	TERCIARIO
	MIOCENO			
Cretácico superior	SUPERIOR			
		SANTONIENSE	SERIE DE CALIZAS Y CALIZAS BRECHOIDES	Nivel Ia Nivel Ib Nivel Ic
	INFERIOR	CONIACIENSE	SERIE CALIZA Y ALTERNANCIA DE MARGAS Y CALIZAS	Nivel Ila Nivel I Ib
		TURONIENSE	DOLOMIAS CRISTALINAS	Nivel III
	CEROMANIENSE	SERIE DOLOMITICA INFERIOR	Nivel IV	

Un nuevo proyecto: repensar la presa desde cero

El *Proyecto de la Nueva Presa de Tous* fue redactado por la Confederación Hidrográfica del Júcar siguiendo las directrices que nacían del *Plan de Defensa contra Avenidas del Júcar* y buscando los objetivos marcados en dicho plan. José Antonio Sánchez fue su director, actuando Ángel Gamo como consultor.

La redacción se inició sin ningún condicionante previo en cuanto a emplazamiento, tipo de presa, dimensiones del embalse, disposición y dimensiones de las estructuras hidráulicas, etc., fuera de las indicaciones impuestas en el *Plan de Defensa* y de los datos derivados de los estudios de regulación. Toda la información acumulada en las décadas precedentes y derivada del proyecto, la construcción y la explotación de la presa antigua, fue incorporada al estudio y utilizada como un simple antecedente más.

Una vez fijados los objetivos que se debían conseguir, se buscaron soluciones alternativas, para lo cual se dedicó un esfuerzo importante en definir la cerrada más adecuada. Con este propósito se efectuaron una serie de prospecciones geológicas, ayudadas con un buen número de sondeos, que permitieron estudiarlas simultáneamente. Para determinar la ubicación de la presa se estudiaron tres soluciones: la primera de ellas utilizando la implantación de la presa primitiva y las dos restantes dentro de un tramo de alrededor de 800 m de longitud, aguas abajo del primero.

Se estudió con especial atención un nuevo emplazamiento por dos razones. La primera es que en el antiguo lugar de la presa permanecía intacta gran parte de la obra de hormigón y su presencia podía significar una compleja problemática que no podría ser resuelta mediante la demolición de estas estructuras, dada su entidad (del orden de 340.000 m³). La otra razón para el cambio de emplazamiento era la de evitar la inquietud que podría despertar en la población de aguas abajo una solución en el mismo sitio y, en cierto modo, del mismo tipo que la destruida.

En cuanto al tipo de presa, se dedicó una atención especial a buscar una solución de presa de hormigón, atendiendo a un estado de la opinión pública, bastante generalizado, según el cual con una solución de este tipo no se habría pro-

ducido la rotura de la presa por la avenida de octubre de 1982.

Los estudios realizados demostraron que una ubicación distinta a la de la presa primitiva introducía una serie de incertidumbres que ponían en entredicho su factibilidad técnica, especialmente en lo relativo a conseguir una adecuada estanqueidad del vaso, por lo que se seleccionó, finalmente, un emplazamiento coincidente con el de la anterior. Esta solución permitía la utilización, directamente o con pequeñas obras de adaptación, de parte de las obras de la antigua presa que se consideraron no afectadas por la rotura, tales como la ataguía, contraataguía, túnel de desvío, desagüe de fondo, y, muy especialmente, las galerías de control y el sistema de impermeabilización y drenaje. Así mismo, se comprobó que una parte del núcleo, en la zona baja del mismo, no fue afectada por la rotura y que podía ser utilizada para el núcleo de la nueva presa. También se conseguía mantener en servicio, con unas interferencias mínimas, la elevación para abastecimiento de agua a Valencia y el sistema de trasvase Júcar-Turia.

En el proyecto de la nueva presa se prestó una atención especial a los problemas derivados de los contactos entre el núcleo y los bloques de hormigón existentes. Las soluciones adoptadas fueron sometidas al dictamen del consultor americano James L. Sherard, ya fallecido, considerado entonces como la máxima autoridad mundial en presas de materiales sueltos. Las soluciones, sancionadas como adecuadas y suficientes por el profesor Sherard, estaban basadas en la suavización y regularización de los contactos, en unas mayores exigencias en cuanto a espesores y granulometrías de los filtros, en el refuerzo de los espesores del núcleo en las zonas de contacto núcleo-hormigón y en la utilización de arcillas con una plasticidad más elevada en estas zonas.

El estudio comparativo de las distintas soluciones posibles condujo, inequívocamente, a concluir que la solución más adecuada, tanto desde el punto de vista técnico como económico, era construir una presa de la misma tipología y en la misma cerrada de la antigua presa.





Necesidades, ideas y soluciones para la nueva presa

Aliviadero

La solución finalmente adoptada significó que la presa fue fuertemente zonificada a fin de lograr una utilización óptima de los materiales de relleno, y en particular, de los materiales procedentes de las excavaciones del aliviadero y del despeje del cauce a la salida del mismo, así como de la toma de agua, sin disminuir las condiciones de resistencia y de deformabilidad exigidas para el cuerpo de la presa. Por otra parte, las nuevas exigencias, deducidas del estudio integral del *Plan de Defensa*, hacían conveniente el diseño de una presa de mayor altura que la proyectada para la anterior.

El aliviadero fue diseñado, por una parte, para permitir el desagüe de la avenida máxima probable y, por otra, para asegurar el cumplimiento de

las limitaciones ya mencionadas impuestas por el referido *Plan de Defensa*. Estas condiciones, junto con la de la optimización de los costes de las obras, llevaron a un diseño no convencional del vertedero. Las formas definitivas de este aliviadero son las obtenidas en las conclusiones del ensayo en modelo reducido llevado a cabo en el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

El desagüe intermedio aprovecha, en una parte importante, la estructura del aliviadero de la anterior presa. Su existencia, junto con las posibilidades que ofrecía para su utilización en el control efectivo de los niveles del embalse, permitió el proyecto de este tipo de desagüe sin precedentes en una presa de materiales sueltos.

El *Pliego de Bases* licitado para la adjudicación del proyecto y la ejecución de la obra dejaba abierta la posibilidad de que los proponentes introdujesen modificaciones al *Proyecto Base*, ajustándose a la normativa. La propuesta estaba dirigida, básicamente, a conseguir una mayor seguridad en todos los aspectos relacionados con la construcción y el funcionamiento general de las obras.

Como resultado del concurso fue seleccionada la variante número 11 presentada por las empresas constructoras Agromán Empresa Constructora SA y Dragados y Construcciones SA, en forma de unión temporal de empresas, adjudicándose definitivamente las obras en diciembre de 1989. Las modificaciones propuestas y otras especificadas en las *Prescripciones Técnicas Complementarias* conformaron finalmente el *Proyecto de Construcción*, fechado en septiembre de 1989.

Los trabajos se iniciaron condicionados a los resultados de los ensayos en modelo reducido y a un mejor conocimiento de la cimentación de la presa antigua. Las conclusiones obtenidas y la experiencia adquirida en el desarrollo de la obra aconsejaron adecuar el *Proyecto de Construcción* introduciendo modificaciones que mejoraban el aprovechamiento de materiales y su puesta en obra, así como otros aspectos entre los que destacaron:

- Recreer el cajero derecho del aliviadero para garantizar su capacidad en avenidas extremas, según ensayos del CEDEX.
- Ampliar la cámara de compuertas existente en el antiguo desagüe de fondo para incorporar dos nuevas compuertas y sustituir las dos ya instaladas por otras dos nuevas.
- Modificar la implantación y tipología de la torre de acceso a la cámara de compuertas del desagüe intermedio.
- Adaptar el estanque de regulación al terreno existente para minimizar excavaciones y construir dos bifurcaciones para la futura central a pie de presa.
- Reforzar las inyecciones de impermeabilización y consolidación.
- Adecuar las excavaciones de cimentación al saneo necesario de los restos de la antigua presa.
- Mejorar la auscultación.

Estas consideraciones dieron origen al *Proyecto de Modificado nº 1* que fue aprobado en noviembre de 1992. Fueron sus autores Luis del Cañizo y Fernando del Campo y actuó como Director de las Obras José Luís Utrillas Serrano.



Ensayo en modelo reducido del aliviadero y las válvulas del estanque de regulación



Otros estudios para el proyecto

La capacidad necesaria del embalse se estudió considerando la presa integrada en el sistema que incluye las aportaciones y demandas en las cuencas interrelacionadas. Los resultados del estudio de regulación mostraron un comportamiento satisfactorio del sistema, con un volumen a máximo nivel normal de 378 Hm³ y a nivel de avenida extrema de 800 Hm³ y con un volumen de regulación en Tous de 320 Hm³. Así se consigue, para la demanda de agua futura:

- Una garantía de servicio de las demandas superior al 97%, medida en porcentaje de meses sin fallo.
- Mantener una reserva para laminación de avenidas en Tous equivalente al 65, 80 y 80% del volumen de embalse máximo normal durante los meses de septiembre, octubre y noviembre, respectivamente.
- Se garantiza el abastecimiento de agua a Valencia.

En base a lo expuesto en el apartado anterior, el máximo nivel de explotación fue fijado a la cota 130,00. A partir de aquí se desarrolló un estudio de laminación de avenidas con la finalidad de definir el nivel máximo extraordinario del embalse y la cota de coronación de la presa. Los estudios de laminación se realizaron bajo las siguientes hipótesis de partida:

- El aliviadero y los órganos de desagüe se dimensionan con la condición de que, al contar con la presa del río Escalona, el caudal máximo evacuado a través de todos los órganos de desagüe de la presa de Tous no supere los 2.500 m³/s, para la avenida de 500 años.

■ Se supone que, cuando se produce la avenida mencionada en el punto anterior, el embalse se encuentra al 20% de su capacidad útil. Es decir, se admite que la explotación de la presa se hará de manera que durante los meses de máximo riesgo en los que se producen avenidas extraordinarias (entre octubre y noviembre), el nivel del embalse se encuentre a la cota 90,00 aproximadamente.

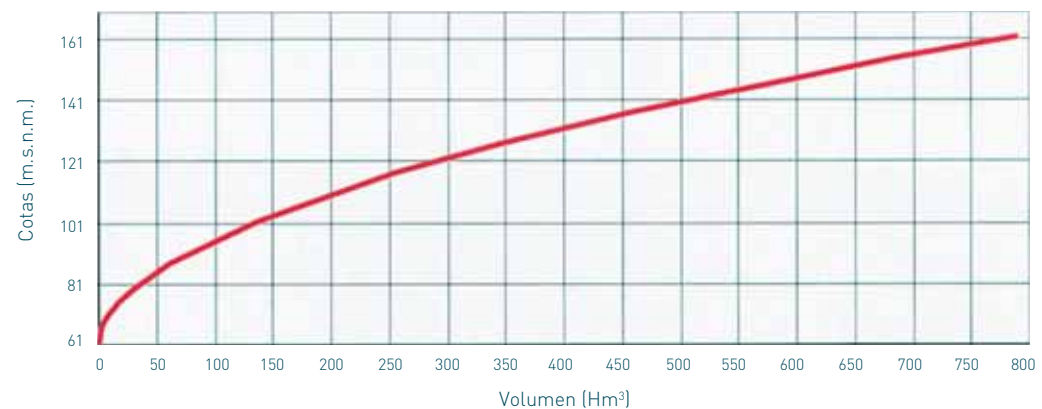
■ La manipulación de los órganos de desagüe, en caso que se presente una avenida, deberá hacerse de manera que no se produzcan caudales, aguas abajo de la presa, superiores a los que produce la propia avenida.

■ Los órganos de desagüe de la presa, bajo control de compuertas y válvulas, se dimensionan de manera que con el embalse a la cota de máximo nivel normal, una apertura total de todas ellas no produzca un caudal superior al caudal punta de la avenida de 25 años de período de retorno (2.500 m³/s).

En las *Normas de Explotación de la Presa de Tous* se llevó a cabo un estudio de avenidas para diferentes periodos de retorno y considerando caudales o volúmenes máximos y, con ello, se determinaron los caudales circulantes a evacuar por el aliviadero. Este aliviadero se diseñó para la máxima avenida probable (período de retorno de 10.000 años) con una capacidad de 19.700 m³/s. (Los resultados obtenidos se acompañan en el cuadro 4.1.)

La obra hidromecánica fue adjudicada en noviembre de 1992 a la unión temporal de empresas formada por las Dragados y Construcciones SA y Mediterránea de Industrias del Ferrocarril SA.

Embalse curva volumen-cota





Exterior e interior de la Subestación transformadora

Dada la especial responsabilidad de las compuertas del desagüe intermedio, se contó con la colaboración de la empresa italiana Acciaieria e Tubificio di Brescia (ATB) para que realizase una supervisión del diseño y cálculo de las citadas compuertas.

Al igual que en la obra civil, los resultados obtenidos de los ensayos hidráulicos realizados en modelos a escala reducida llevaron a introducir modificaciones con el objeto de mejorar las condiciones de funcionamiento, explotación y mantenimiento de las instalaciones procediéndose con tal fin a la redacción de la *Modificación nº 1* del proyecto correspondiente en diciembre de 1993 bajo la dirección de José LuíS Utrillas Serrano.

La obra eléctrica también precisó de un estudio específico. La necesidad de este proyecto fue debida a que las obras de la presa de Tous, por su extensión, dejaban dentro de su zona de influencia una serie de instalaciones eléctricas existentes (entre ellas una línea de 132 KV y la subestación transformadora) que era preciso cambiar de emplazamiento sin interrupción práctica del servicio que prestaban, ya que de su funcionamiento dependían, entre otros, el abastecimiento de agua a

Valencia y las obras de construcción de la presa de Escalona. Además, la demanda de energía eléctrica para los equipos de construcción de la presa de Tous se estimaba en una potencia de 6.000 KVA, por lo que se hacía necesario ampliar la potencia disponible.

Como resultado del concurso, fue seleccionada la *Solución Variante del Proyecto* presentada por la empresa Abengoa SA, adjudicándose definitivamente las obras en julio de 1990.

El aprovechamiento hidroeléctrico a pie de presa fue también objeto de estudio puesto que, con la construcción de la presa, se genera un importante salto que puede dar origen a un aprovechamiento hidroeléctrico de elevada rentabilidad económica. Por ello, y dado que después de concluida la presa sería prácticamente imposible construir los desagües requeridos, se incluyó un estudio preliminar en el proyecto de construcción de la obra civil, en el que se definen tanto el predimensionamiento de la obra civil y el caudal de equipamiento más conveniente como las características de la conducción y del equipo electromecánico principal.







03

Un hito en la ingeniería hidráulica

La respuesta singular a un gran reto

La gran presa de Tous se interpone en el curso del Júcar ofreciendo al espectador unas formas sinuosas dibujadas con colores terrosos y pardos. Es una morfología de aspecto casi orgánico que, lejos de nacer de la naturaleza, responde a un diseño calculado para integrarse en ella y, al mismo tiempo, incorporar parte de las infraestructuras levantadas anteriormente y atender, en cada una de sus secciones, a unas funciones muy determinadas. El conjunto está presidido por un gran dique que está construido con materiales sueltos. En ambos extremos del mismo se observan dos infraestructuras muy evidentes: en la margen derecha y mirando aguas abajo está el gran aliviadero, una apertura sin compuertas de formas onduladas destinada a desaguar exclusivamente en caso de avenidas extraordinarias; en el extremo contrario y aguas arriba, se alzan dos torres destinadas a tomar el agua embalsada y destinarla al consumo humano y el regadío. Entre los dos elementos, dos desagües que también atraviesan el cuerpo de la presa en sentido transversal: el de fondo, situado en el punto más bajo del embalse, y el intermedio, que se utiliza para el control efectivo de los caudales embalsados y que, en caso de avenida, también ayudaría a una correcta laminación de la misma. La presa, que incorpora varios elementos singulares, incluye también una extensa red de galerías para su control y mantenimiento y se complementa con importantes instalaciones eléctricas.

03

Un hito en la ingeniería hidráulica

La respuesta singular a un gran reto

Vista del cuerpo de presa desde la margen izquierda

El cuerpo de la presa

El gran dique que corta el paso al Júcar en el tramo final de su recorrido, es una imponente infraestructura que mide algo más de un kilómetro de longitud en su coronación y tiene 135 metros de altura desde cimientos. Construida con materiales sueltos compactados capaces de hacer frente a las fallas situadas en el cauce del río, la presa presenta una base de grandes dimensiones que disminuyen hasta llegar a los 9 metros en su coronación.

La presa está constituida por un dique de materiales sueltos formado por núcleo impermeable de arcilla, filtros de protección y espaldones de escollera. El emplazamiento del cuerpo de la presa, su disposición en planta y la sección tipo responden a la necesidad de dar respuesta simultánea a varios objetivos:

- Incorporar dentro del esquema funcional o estructural de la nueva presa toda la infraestructura de la antigua que se considera válida, particularmente el sistema de galerías de control e impermeabilización, las pantallas de inyecciones y drenajes y la cimentación de la presa en la zona del cauce.
- Lograr una unión adecuada entre la nueva presa y los bloques de hormigón de la antigua.
- Mantener los rellenos de la presa actual dentro de un área situada aguas abajo de la ataguía de la presa anterior. De este modo se mantenía en funcionamiento la central de elevación del canal Júcar-Turía, cuyo servicio no puede ser interrumpido salvo unos pocos días a lo largo del año.

- Zonificar los espaldones de la presa para obtener una estructura más resistente y menos deformable consiguiendo, además, una utilización racional de los materiales procedentes de las excavaciones.

- Colocar como elemento esencial de la seguridad de la presa un filtro y dren con espesores de 3 metros aguas arriba y 5 metros aguas abajo

- Obtener el menor coste posible de las obras teniendo en cuenta las limitaciones impuestas por los puntos anteriores.

El cuerpo de la presa, en cifras

El gran dique tiene una longitud en coronación de 1.024 m y una altura sobre el cauce del río de 110,50 m y de 135,50 m sobre los cimientos. El núcleo de arcilla corona a la cota 162,00 con una anchura de 3 m, teniendo a la cota 50,00 una anchura de 57,50 m.

La superficie de aguas arriba de la presa tiene un talud de 1,85:1,0, con berma de 9,25 m de anchura en la cota 100,00. Aguas abajo, el talud es 1,5:1,0 con tres bermas de 5,0 m de anchura, situadas a las cotas 70, 100 y 130.

La anchura de coronación es de 9,0 m y sobre ella discurre la carretera que enlaza por la margen izquierda con las poblaciones de Antella y Tous y por la margen derecha con la presa de Escalona y la Canal de Navarrés.

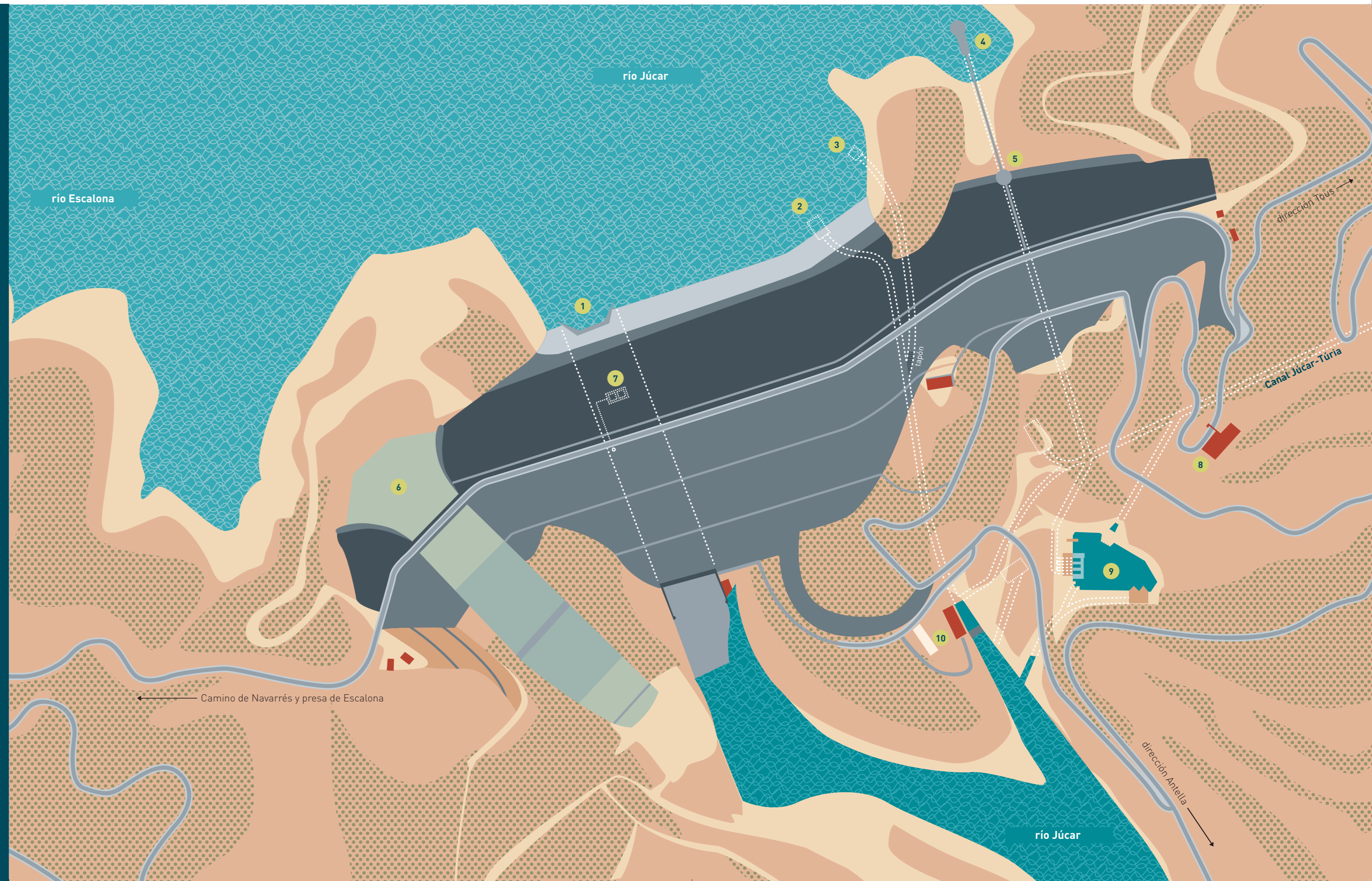
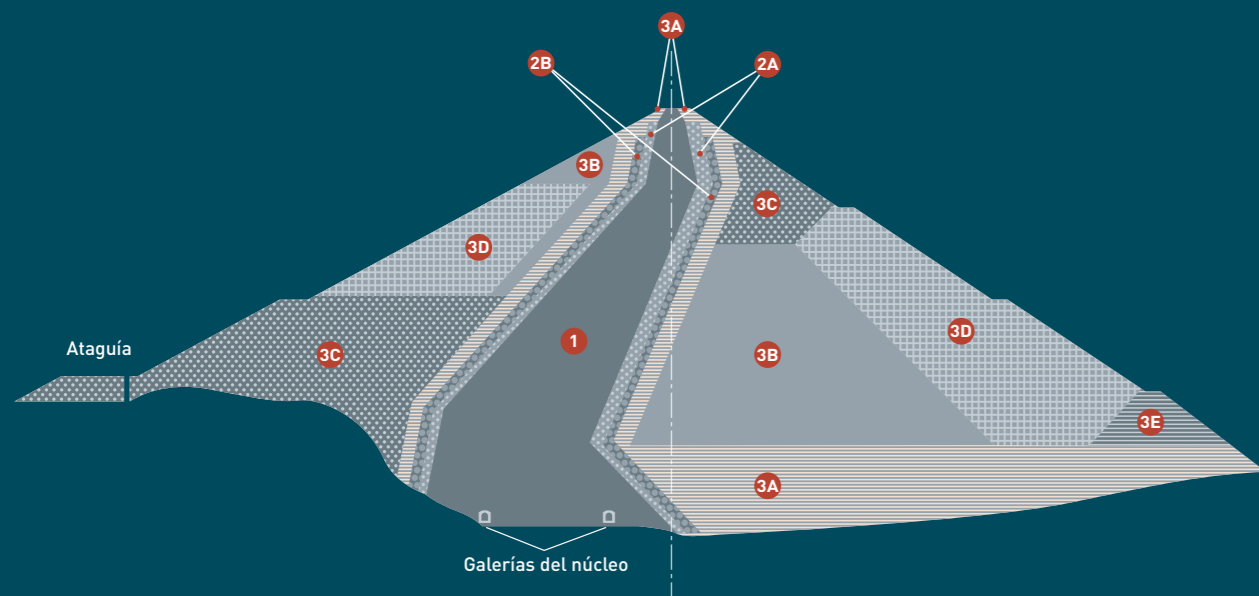


CUERPO DE PRESA / PLANTA GENERAL

- 1 Desagüe intermedio
- 2 Desagüe de fondo
- 3 Túnel de desvío
- 4 Torre de toma
- 5 Torre de compuertas
- 6 Aliviadero
- 7 Cámara de compuertas
- 8 Centro de control
- 9 Estanque de regulación
- 10 Central de impulsión Júcar-Túria

SECCIÓN TIPO DE PRESA
DEFINICIÓN GEOMÉTRICA

ZONA	FUNCIÓN	MATERIALES	DENSIDAD	ESPESOR DE TONGADA
1	Núcleo impermeable	Arcillas	$\geq 105-98\%$	30 cm
2A	Filtro fino	Arenas	$Dr \geq 70\%$	25 cm
2B	Filtro grueso	Gravas	$Dr \geq 70\%$	25 cm
3A	Transición	Escollera caliza	≥ 2.15	45 cm
3B	Espaldón resistente	Escollera caliza	≥ 2.15	60,75 cm
3C	Espaldón resistente	Escollera caliza	≥ 2.10	90 cm
3D	Espaldón resistente	Escollera caliza	≥ 2.05	90 cm
3E	Protección del talud	Escollera caliza	≥ 2.05	90 cm





Demolición de los bloques de la antigua presa y ejecución del contacto del núcleo con el hormigón existente para la actual



Los materiales que forman el dique

La **arcilla** que conforma el núcleo del dique proviene de una cantera situada a unos 2 Km aguas arriba de la cerrada de la presa, en el paraje denominado Terrabona. Dicha cantera, que ya fue utilizada en la construcción de la presa anterior, está formada por materiales terciarios continentales y aunque son de naturaleza arcillosa principalmente, presentan alternancias de areniscas y conglomerados, por lo que la explotación no estuvo exenta de dificultades, teniendo que rechazar diversas zonas.

Para los **filtros y drenes**, elementos esenciales para evitar la erosión del núcleo, se eligieron arenas y gravas procedentes de machaqueo rigurosamente clasificadas. Y es que hablamos de que en Tous se ha instalado un filtro bicapa en transición granulométrica hacia la escollera, que cuenta con anchuras diseñadas para eliminar toda posibilidad de migración. La idea de la doble capa se enfrenta a una tendencia que prefiere filtros de una capa única aguas arriba, pero en este caso se consideró importante tener en cuenta el funcionamiento previsto para Tous, donde el embalse podría descender desde la cota 130 hasta la 80 en 115 horas con un caudal entrante de 50 m³/s o de 125 horas con caudal de 100 m³/s.

En los **espaldones de escollera** se han usado calizas procedentes de las excavaciones de la obra y de las canteras ubicadas en las cercanías de la misma: una de ellas en la margen izquierda (cantera de Tous) y otra entre los ríos Júcar y Escalona (cantera de la Isla).

Al iniciarse el proyecto, el correspondiente *Pliego de Prescripciones Técnicas* marcaba unas exigencias muy concretas en la calidad de los materiales, concretando tanto el espesor de tongada como la densidad mínima y máxima y el porcentaje admisible en la prueba de Desgaste de Los Ángeles (DLA). Sin embargo, tras estudiar de modo exhaustivo las canteras y sus calidades, se constató la extrema dificultad de obtener estas condiciones, sobre todo en lo referente al DLA. Por ello, después de trabajar en terraplenes de ensayo, se introdujo un cambio en el Proyecto Modificado que consistió, esencialmente, en disminuir los espesores de tongada y aumentar la energía de compactación para producir un aumento de densidad, admitiendo a cambio coeficientes de desgaste mayores que los anteriormente establecidos. El resultado fue, tras su puesta en obra, unos índices de calidad sensiblemente mejores a los iniciales.

Por otro lado, se hizo extensivo el riego con agua a todos los materiales de escollera, utilizando 200 l/m³ para los conglomerados y 400 l/m³ para el resto de los materiales, favoreciendo con ello la consecución de las compactaciones exigidas.

Los resguardos

Destinados a dar protección a la presa frente a las avenidas, los resguardos se definen como la diferencia existente entre el nivel de agua del embalse en una situación concreta y la coronación de la presa. En Tous se ha calculado un resguardo sobre el Máximo Nivel Normal del embalse en la cota 130. El otro, calculado sobre el Máximo Embalse Extraordinario de la avenida milenaria, se localiza en la cota 146,30.

Primeros pasos para la construcción

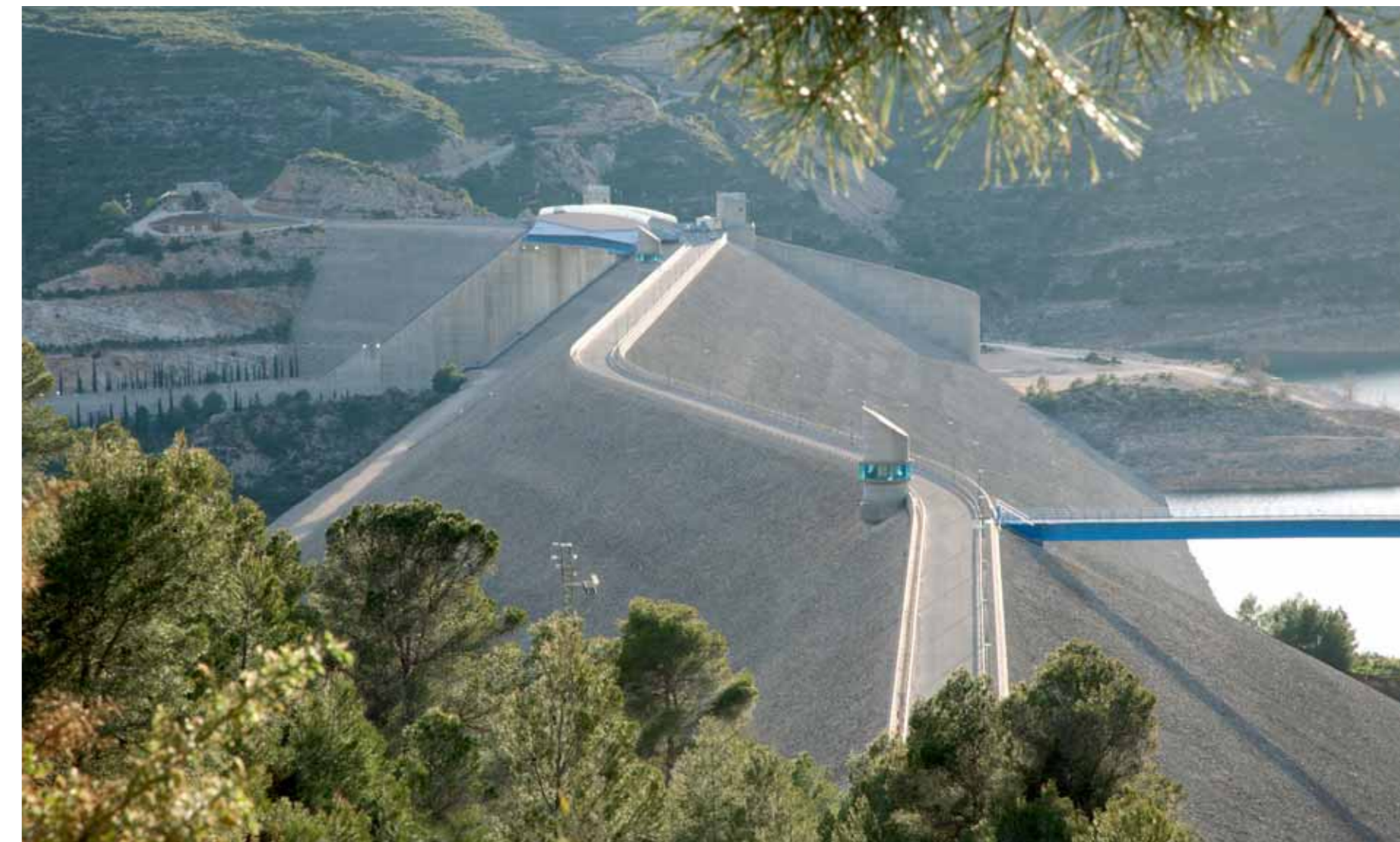
Cuando se iniciaron las obras en febrero de 1990, la presa primitiva se encontraba en una situación en la que el cajero izquierdo del antiguo aliviadero, en un importante tramo, había desaparecido; así mismo, existía una gran cantidad de materiales procedentes de los arrastres de la riada que rellenaba el cuenco de esta estructura. En el cuerpo de presa emergía parte del núcleo de arcilla procedente de la anterior presa, no así la escollera de espaldones que debía haber sido removida prácticamente en su totalidad, estando además inundada gran parte de la zona de aguas abajo del núcleo y la galería existente a la cota 29.

En base a ello se plantearon como objetivos preliminares la observación de las condiciones del núcleo y filtros existentes aguas arriba y aguas abajo, así como la ampliación y rehabilitación de la ataguía y la investigación de la contraataguía, ya que cabía la posibilidad de que esta última se hubiese permeabilizado. Una de las alternativas consideradas para resolver esta posible eventualidad proponía efectuar una campaña de inyecciones, campaña que fue posteriormente desestimada ya que podría ser de difícil cuantificación en cuanto a su comportamiento, control y efectividad. Por ello se consideró más práctico realizar, en primer lugar, los agotamientos del cuerpo de presa que permitirían, una vez bajado el nivel del agua, una observación completa de los materiales remanentes y condiciones del cauce antes de iniciarse las excavaciones y, además, calibrar la efectividad de la contraataguía al poder cuantificar el volumen de las filtraciones.

Construyendo la nueva presa

De modo que las obras de construcción se iniciaron con la rehabilitación del túnel de desvío y la adecuación de la ataguía, obras que terminaron en febrero de 1991, mes en que el Júcar fue encauzado a través del túnel de desvío, por el que discurrió hasta el 26 de enero de 1995.

Desviado el río, se comenzó la limpieza y excavación de los restos de la antigua presa. Pronto se





Voladuras en la cantera de la isla

vio que únicamente la escollera de aguas arriba, protegida por el estribo de hormigón de margen izquierda y que había quedado erosionada hasta cotas próximas al nivel del río, ofrecía una superficie de apoyo de buena calidad para iniciar la reconstrucción. El núcleo de tierras fue allanado también hasta el nivel del río y examinado mediante catas y placas de carga para confirmar que desde ese nivel y hasta su base, situada unos treinta metros bajo el nivel normal de las aguas, estaba íntegro y con la compacidad idónea para ser conservado.

Los restos de escollera que quedaron aguas abajo aparecieron totalmente removidos y mezclados con la arcilla procedente del núcleo. Donde la ba-

timetría parecía indicar que la erosión remanente más profunda estaba a unos doce metros bajo el nivel freático, resultó que fue necesario profundizar el saneo más del doble de esa profundidad. Una vez achicadas las aguas y al comenzar a excavar aparecieron, bajo los primeros sedimentos, algunos restos de troncos y ramas arrastrados por la riada y a mayor profundidad aún bloques de hormigón procedentes de la destrucción del aliviadero. Dos de esos bloques, los de mayores dimensiones entre los encontrados, cubicaron 3.000 m³ y uno de ellos descansaba con su cara inferior situada a más de treinta metros de profundidad con respecto al cauce, pudiendo ser la causa que origi-

nó el gran agujero aparecido en la clave de uno de los ramales de la galería perimetral.

El 21 de septiembre de 1991, una vez saneada la escollera, comenzaron los rellenos en la zona 3A (la escollera de transición), situada aguas abajo. La colocación de la escollera comenzó por la zona situada hacia la cota 27 (la del nivel del río es la 56) y derecha del cauce. Al mismo tiempo, se colocaron los primeros elementos de auscultación consistentes en placas de asiento y tubos telescópicos (inclinómetros) para la medida de movimientos verticales y horizontales.

En cuanto al núcleo antiguo, una vez saneada y retaluzada la superficie, se inició la reconstrucción bajo un control estricto para ajustar los parámetros de densidad y humedad a las exigencias del proyecto. La parte superior del núcleo aprovechable se cubrió con plástico con el fin de evitar su desecación en tanto durase la construcción hasta alcanzar esta cota.

Con el fin de impedir la posible pérdida de estanqueidad del núcleo por fracturación hidráulica o fisuración, se contemplaron en el proyecto una serie de actuaciones en ambas márgenes que consistieron, básicamente, en la demolición parcial de los bloques de la antigua presa mediante voladuras controladas con geófonos y registradores sismográficos, y en la ejecución de rellenos de hormigón para suavizar su talud de contacto, llevándolo a un mínimo de 1H:3V.

Por otro lado, todo el contacto del núcleo con las calizas de cimienta, tanto en las cimentaciones horizontales como en talud, se realizó mediante una transición de hormigón (vibrado o proyectado, según los casos) y la posterior inyección de consolidación para alejar las posibles filtraciones de las zonas de contacto.

También hubo que tener en consideración otras circunstancias en las áreas afectadas por los rellenos del núcleo, como la existencia de vaguadas estrechas formadas principalmente entre los bloques de hormigón antiguos y el terreno adyacente, donde se podrían producir fenómenos de descompresión de la arcilla por efecto bóveda. La solución adoptada consistió en ejecutar un relleno de hormigón, convencional o compactado dependiendo de la entidad del estrechamiento, hasta alcanzar la anchura suficiente para que este fenómeno no fuera posible. En este sentido cabe destacar, por su importancia, el relleno efectuado en la margen derecha, aguas abajo de los bloques.

Otra medida tomada para mejorar la estanqueidad de los contactos del núcleo con el hormigón de los antiguos bloques, consistió en aumentar su anchura hasta arroparlos con arcilla por aguas abajo, tanto en la margen izquierda como en la margen derecha. En estos contactos se empleó arcilla con un índice de plasticidad mayor de veinte, que se obtenía, bien directamente de la cantera, bien por adición a la misma de un 1 % a 5% de bentonita.

Señalar que como complemento adicional para la obtención de la estanqueidad y evitar la existencia de posibles recorridos del agua a través de las juntas de los antiguos bloques, se realizó un tratamiento muy específico y variado dependiendo de la disposición de dichas juntas. Por la zona de aguas arriba algunos bloques disponían de bandas de PVC, pozos de arcilla vacíos y huecos para vigas pentagonales en secuencia, situándose estos últimos huecos en el paramento de aguas arriba.

La ejecución del núcleo impermeable

La cantera de arcilla de la que se nutrió la obra se encontraba ubicada en la margen izquierda del río Júcar, a unos 2 Km aguas arriba de la presa, próxima al antiguo pueblo de Tous en el paraje conocido como Terrabona.

Planta de machaqueo y clasificación





Antes de iniciarse la obra se realizaron terraplenes de ensayo, con el objeto de determinar el equipo de compactación más adecuado, así como el espesor de tongada idóneo y el número de pasadas a ejecutar, de tal manera que fueran fijadas las condiciones definitivas de colocación en el núcleo de la presa dentro de las exigencias del Pliego de Condiciones. De la experiencia obtenida se concluyó, que el adecuado era el compactador dinámico de pata de cabra y que el espesor de tongada sin compactar debía ser de 30 cm.

Una vez determinadas las características geotécnicas de los materiales más adecuados para el núcleo y su disposición en el área de préstamo, se procedió a su explotación, creándose posteriormente unos acopios de los que se tomaban los materiales arcillosos una vez humectados y homogeneizados.

El material acopiado y seleccionado, tras la eliminación de los tamaños gruesos, se cargaba con palas sobre neumáticos y se transportaba al tajo mediante camiones basculantes de 13 Tn (en pun-

tas de máxima producción llegaron a utilizarse un total de 14 unidades). Una vez descargado en la zona de colocación era extendido y compactado con los medios y condiciones mencionados con anterioridad.

Con respecto a la arcilla de contacto, dadas sus especiales características, fue necesario realizar acopios diferentes a los de la arcilla normal. Sin embargo estos acopios se extendían por capas para proceder al vertido de bentonita, removiendo a continuación hasta conseguir la uniformidad de la mezcla y el índice de plasticidad exigido. La zona más próxima al contacto hormigón-arcilla era rematada por medio de pisones neumáticos (ranas) que completaban la ejecución de cada tongada.

La ejecución de los filtros y los espaldones de escollera

Los materiales utilizados para los filtros se obtenían, tras el procesado en la planta de machaqueo y clasificación, de la roca caliza procedentes de los

frentes de excavación. Transportadas mediante dumpers de 50 Tn hasta el primario de la planta se efectuaba el machaqueo, lavado y clasificado, obteniendo los dos tipos de filtros utilizados en la construcción. Después de fabricados eran colocados en tajo mediante una extendidora de arcenes, convenientemente adaptada, para dejar tongadas de 25 cm que, una vez regadas, se compactaban con rodillo vibrante de 5 y 10 Tn.

El pliego exigía limitar el contenido de finos al 5% y obtener una densidad relativa superior al 70%, por lo que se realizó una completa campaña de estudios y ensayos encaminados a investigar los efectos de la compactación en las características granulométricas, los comportamientos del filtro ante flujos de agua, la cohesión y la cementación a largo plazo. Los ensayos fueron realizados en laboratorio y contrastados sus resultados mediante la ejecución de diferentes terraplenes de ensayo.

En la construcción de los espaldones de la presa se utilizaron, básicamente, calizas extraídas de las excavaciones de la propia obra (aliviadero y obra de toma) y de dos canteras ubicadas aguas arriba de la presa. Una vez transportadas a obra, se extendían en tongadas de diferentes espesores, dependiendo de la zona de los espaldones donde se colocaba, ya que estructuralmente la escollera de la presa se encuentra zonificada, localizándose la más resistente próxima al núcleo y en todo el cimiento del espaldón de aguas abajo y la de menor resistencia cerca de los bordes.

Al igual que en el caso de la arcilla del núcleo y de los filtros, se realizaron una serie de terraplenes de ensayo tendentes a determinar las condiciones óptimas de colocación de materiales: cantidad de agua de riego, peso del rodillo compactador, número de pasadas, frecuencia de vibración, etc.



Vista general de las obras, 1993

El aliviadero

La abertura más evidente en el cuerpo de la presa es este gran aliviadero que, situado en su zona superior, se presenta como una enorme boca sin compuertas. Es el último órgano de desagüe. Su disposición se ha calculado para que comience a desaguar a partir de la cota 130, con un volumen embalsado de 378 Hm³. Y la forma de su perfil ha sido diseñada para que, incluso contando con caudales extraordinarios, ninguna avenida pueda causar daños en el hormigón del propio aliviadero como consecuencia del despegue de la laminación de agua.

Su estructura se encuentra cimentada sobre niveles de calizas blancas y calizas brechoides del Cretácico (Nivel Id), excepto una pequeña zona en la margen derecha que se apoya sobre conglomerados terciarios.

Es del tipo de labio fijo y cuenta con aberturas inferiores, lo que implica un doble sistema de defensa: en primer lugar, las aberturas inferiores permiten el vertido de agua cuando el nivel en el embalse supere la cota 130, permitiendo la evacuación de un caudal de 2.500 m³/s y, posteriormente, al llegar a la cota 140, a la que se sitúa el labio fijo, el aliviadero es capaz de evacuar la avenida máxima probable, equivalente a unos 20.000 m³/s.

La forma y la función

Siguiendo la trayectoria del agua, en el aliviadero encontramos diferentes partes. La primera es el **canal de entrada**, que tiene la solera a cota 120 y una planta en forma de hexágono irregular. Está formado por losas de hormigón de 1 metro de espesor ancladas al terreno.

Los cajeros de la embocadura tienen una transición curva, mediante arcos de círculo de radio 30 metros y altura variable que va desde los 26,30 metros en el inicio y los 42,50 metros que hay en la sección de control. Ambos cajeros tienen estructura de muros de gravedad.

Bajo las losas perimetrales de la embocadura se ha dispuesto una galería que permite la inspección y drenaje.

La **sección de control** es una estructura de tipo convencional con pilas de perfil curvo para mejorar las condiciones de descarga y una anchura de 75 metros. Dentro de ella, a nivel inferior, se han situado nueve aberturas de perfil hidrodinámico que tienen 6,83 metros de ancho y están separadas por pilas de 1,69 metros de anchura. La solera se encuentra a cota 130.

Debajo de esta estructura se localiza una galería de inspección y drenaje que comunica ambos márgenes. Esta galería enlaza con otra localizada bajo las losas del canal y con dos pozos de acceso.

Sigue el **canal de descarga**, que tiene una longitud de 215 metros y una sección de 75 x 12. Presenta una pendiente de 0,02 en 78 metros de longitud y de 0,58 en 60 metros.

Los cajeros del canal tienen 12 metros de altura en sus primeros 80 metros, variando después gradualmente hasta alcanzar más de 35 metros de altura el cajero derecho y 18 metros el izquierdo (ambos medidos desde cimentación) y situados en la zona del trampolín de salida. Estos muros son de perfil gravedad, con paramento interior vertical y exterior de talud 0,65H:1V.

La losa de solera tiene un espesor mínimo de 75 cm, con anclajes de diámetro 25 mm, de longitud superior a 4 metros, formando malla de 1,50 m de lado.

La cimentación de la losa está fuertemente drenada, con una disposición de drenes de diámetro 200 mm en forma de espina de pez separados entre sí 15 m. Estos drenes son captados por una galería, situada a la izquierda del eje del aliviadero y que recorre longitudinalmente todo el canal de descarga y el trampolín, teniendo su salida al exterior, hacia la margen izquierda de la estructura, por debajo de las losas de protección.

La aireación de la lámina se consigue con una galería situada en la zona de acuerdo curvo a la cota 107,55. Esta galería comienza con dos pozos laterales de toma de aire, de 2 x 1 m, y presenta ventanas de 0,50 x 1,0 m bajo la rasante hidráulica. Este sistema está independizado de la galería de drenaje.

El **trampolín** se ha diseñado para que consiga láminas de agua bien aireadas gracias a tres elementos: el peralte de la arista de salida, su estrechamiento y el giro del cajero derecho, lo que voltea y aleja los impactos del chorro de la ladera derecha y los dirige directamente hacia el cauce del río.

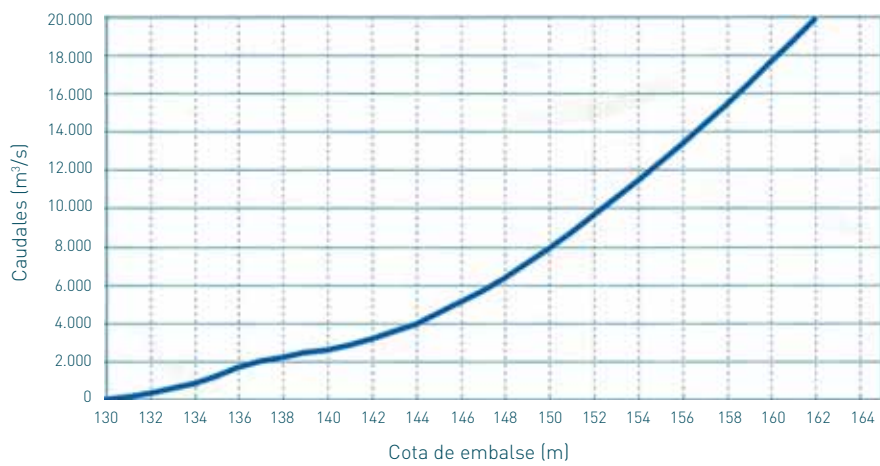
El alcance máximo del lanzamiento es de 40 m para un caudal de 1.100 m³ por segundo y de 200 metros para el caudal máximo, medidos ambos desde su pie.

El aliviadero se ensayó en un modelo reducido en el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, corrigiéndose el diseño del proyecto para mejorar su funcionamiento. (Puede consultar más detalles sobre estos ensayos en los anexos de este libro).



Aliviadero

Estructura de control y curva de descarga





La construcción del aliviadero

En el segundo trimestre de 1991 se iniciaron las excavaciones para su cimentación. El procedimiento empleado se basó en la utilización de explosivos atacando bancos de diferentes alturas, que iban desde la cota 75 hasta la cota 160, y que finalmente se dejaban con 15 metros de altura y bermas de 5 metros.

En total se perforaron más de 135.000 m y se emplearon unos 320.000 kg de explosivo para los 2.000.000 m³ de roca excavados. El volumen de excavación máximo conseguido en un mes fue de 220.000 m³.

En junio de 1992, y antes de finalizar las excavaciones, se iniciaron los hormigones con la ejecución de las losas y muros de la embocadura. El hormigón era transportado desde la planta mediante silobuses o camiones hormigoneras hasta la zona de acción de una grúa torre encargada del traslado, utilizando cazos de 3 m³, al sitio de colocación. A lo largo de la construcción del aliviadero se llegaron a utilizar tres grúas torres simultáneamen-

te, alcanzándose una producción máxima mensual de 42.000 m³.

Los muros, tanto de la embocadura como del canal, se ejecutaron con tongadas de 2 metros empleando encofrados trepantes.

Para la construcción de las losas del canal de descarga, se ejecutaron previamente los anclajes al terreno proyectados, formando malla de 1,50 x 1,50 metros, de 4 metros de profundidad y diámetro de 25 mm.

Las ubicadas en la zona sensiblemente horizontal del canal tenían como característica especial no poseer juntas transversales, desde su inicio hasta la zona de aireación de la lámina (unos 80 m), estando separadas entre sí por juntas longitudinales impermeabilizadas con bandas de PVC. En su construcción se extremaron los medios a utilizar, ya que debía obtenerse un perfecto acabado para evitar cualquier resalto que pudiese producir efectos de cavitación así como disminuir sensiblemente el coeficiente de fricción. La terminación exigida

Obras de construcción del aliviadero y ejecución del canal de descarga, 1993





se consiguió a base de utilización de regla vibrante en los últimos centímetros del hormigón colocado y posterior fratasado final, por medio de "helicóptero", dejando así las superficies del canal prácticamente pulidas. Así mismo se puso especial énfasis en su curado, a base de productos sintéticos, dada su gran longitud.

En agosto de 1993 se completó la 1ª fase de construcción, lo que representaba tener prácticamente el aliviadero terminado, excepto la estructura de control que se dejó a la cota 120 a efectos de poder evacuar posibles avenidas durante los meses de septiembre a noviembre.

Pasado este período, en diciembre de 1993 se reanudaron los trabajos, completándose en su totalidad 5 meses después, en mayo de 1994.

En total se colocaron más de 290.000 m³ de hormigón y más de 3.200.000 kg de acero.



Puente descimbrado para construir la pasarela colgante

Puente sobre el aliviadero con pasarela colgante



El puente sobre el aliviadero

Un puente cierra por su extremo superior la gran abertura del aliviadero, lo que permite dar continuidad a la carretera que recorre la coronación de la presa y enlaza las dos márgenes del río. Con 77 m de luz, esta estructura tiene una interesante peculiaridad y es que bajo ella se ha construido una pasarela colgada mediante pilares metálicos. Mirador excepcional para contemplar el Júcar en su tramo final, este espacio es hoy un Centro de Interpretación dedicado al propio río.

El puente situado sobre el aliviadero consta de dos elementos fundamentales: el primero es una viga principal que tiene 79 metros de luz (77 metros de distancia entre apoyos); el segundo es una pasarela que cuelga de la viga.

La viga, que tiene una anchura de 9 metros, es de hormigón pretensado y su canto varía parabólicamente entre un mínimo de 2,20 m en los extremos y un máximo de 4,40 m en la zona central. La sección transversal tiene un bombeo del 2%, y está formada por una calzada de 6 m de anchura y aceras de 1,50 m cada una.

La losa superior tiene un espesor variable entre 0,60 m en el exterior del cajón y 0,69 m en el centro. Las almas del cajón son de 0,60 m en los dos cuartos de luz centrales de la viga y varían linealmente hasta 1,05 m en los cuartos extremos, siendo necesario este ensanchamiento para compensar la pérdida de canto y para contar con una sección capaz absorber los esfuerzos por cortante en los apoyos.

Estado actual del puente del aliviadero con el centro de interpretación



< Construcción del puente sobre el aliviadero, 1994

> Construcción de la sección de control del aliviadero

∨ Obra de construcción del puente, 1994

La losa inferior de la viga cajón es de 0,40 m de espesor, excepto unos regruesamientos finales hasta 0,55 m que sirven para anclaje de cables. A un cuarto de la luz de cada extremo de la losa, se han dejado dos huecos de 4x3,50 m para permitir, por una parte, alojar las cabezas de los cables de menor sección y recorrido y por otra para dar acceso al interior de la viga cajón, concretamente a su zona central, que puede ser utilizable al existir suficiente gálibo.



Distintas vistas de la pasarela y centro de interpretación

Una singular pasarela colgante

Bajo el puente del aliviadero y colgada mediante pilares circulares metálicos situados bajo las almas de la viga cajón del puente, se ha dispuesto una plataforma de anchura variable entre 13,62 m en su parte central y 19,64 m en los extremos. Esta plataforma se proyectó con forjado nervado unidireccional de hormigón armado con 0,93 m de separación entre nervios, 0,40 m de altura de aligeramiento y 0,10 m de capa de compresión, siendo estos nervios normales a la dirección longitudinal del puente.

Los pilares circulares de cuelgue son tubos de diámetro exterior 140 mm e interior 90 mm, separados 3,75 m en sentido longitudinal, y 8,40 m en sentido transversal. Estos tubos van soldados en la parte superior a chapas de 30 mm de espesor embutidas en la viga cajón y con 6 anclajes de diámetro 32 mm dentro del alma de la viga. Tanto en la parte superior como en la inferior disponen de 8 cartelas de refuerzo.

La pasarela inferior está encastrada 0,50 m en ambos márgenes del aliviadero, en una longitud de 3,17 m. La zona encastrada dispone de dos apoyos de neopreno-teflón en su base y dos topes sísmicos laterales del mismo material.

La cota de la pasarela inferior es la 159,10, ubicación que deja un resguardo de seguridad suficiente entre dicha pasarela y la lámina de agua desaguando el aliviadero el caudal de avenida para la avenida máxima probable.

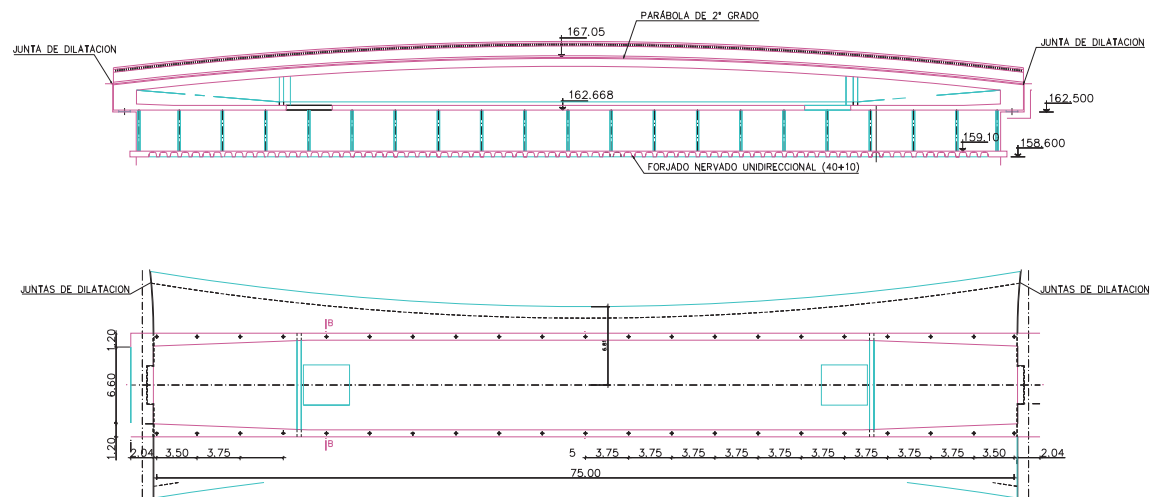
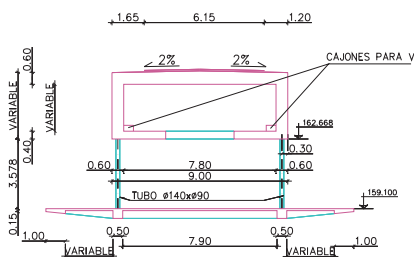
La pasarela se complementa con dos estructuras anexas adosadas a los muros del aliviadero, las cuales permiten el acceso al interior desde las explanadas adyacentes a la coronación de presa en la cota 164,50.

Las estructuras de hormigón armado, si bien están construidas sobre el relleno de presa, no apoyan sobre él, sino que son solidarias a los muros del aliviadero mediante 4 bataches de hormigón de 0,80 m de anchura, anclados a dichos muros, sobre los que descansa la losa inferior de 0,40 m de espesor, y sobre ella el resto de la estructura.

Toda la estructura anexa queda inmersa en el cuerpo de presa, salvo la zona de acceso que emerge en forma cilíndrica hasta la cota 167,51. Debido a que también se sitúa sobre el núcleo, la arcilla puede tener un efecto de cierto "descuelgue", por lo que para prevenirlo se han dejado unos taladros en la solera que permiten efectuar inyecciones de corrección.

Se señala finalmente que esta estructura singular, con una superficie construida de unos 1.100 m², además de ser un excelente mirador, ha permitido su utilización como Centro de Interpretación del Júcar, para lo cual se ha efectuado el cierre de todo el recinto con un muro cortina mediante perfilera de aluminio y doble acristalamiento de 6 mm. Este cierre es capaz de absorber tanto los esfuerzos térmicos como los debidos al viento, ya que posee juntas elásticas entre perfiles que impiden realizar una transmisión continua de los mismos en toda su longitud.

Puente sobre el aliviadero







Losas prolongadas y escollera de protección a la salida del aliviadero y del desagüe intermedio

El desagüe intermedio

Se trata de un gran conducto que atraviesa transversalmente el cuerpo de la presa y que está destinado a dar salida a las aguas embalsadas con ayuda de un doble sistema de compuertas. Por su funcionalidad, se considera el centro neurálgico de la presa: este es el desagüe que se utiliza para controlar los niveles de agua embalsada, excepto en caso de avenidas extraordinarias. En esas ocasiones excepcionales, también contribuye a minimizar su efecto.

Situado sobre la estructura de lo que fue el aliviadero de la antigua presa (del que aprovecha en parte su cimentación), el desagüe intermedio permite desaguar 1.200 m³/s antes de que comience a descargar el aliviadero de labio fijo. Resumidas, estas son sus finalidades:

- Suministrar caudales relativamente elevados en la explotación de la presa.

- Permitir un control efectivo de los niveles de agua en el embalse con cualquier caudal entrando en el mismo, fuera de los producidos en las avenidas extraordinarias.

- Proporcionar una laminación más eficaz de las avenidas.

- Permitir junto con el túnel de desvío, desaguar avenidas durante el período constructivo de la presa.

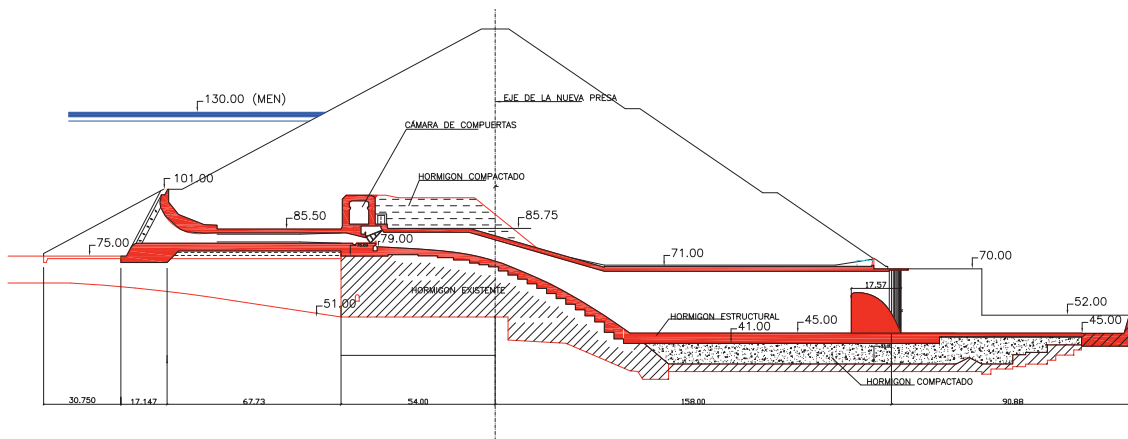
En el centro neurálgico de la presa: la obra civil

Siguiendo el curso de las aguas, en él podemos distinguir las siguientes partes: embocadura y conductos de carga, cámara de compuertas y conductos de descarga.

La embocadura, de 36,6 m de longitud, tiene una



Azud a la salida del desagüe intermedio

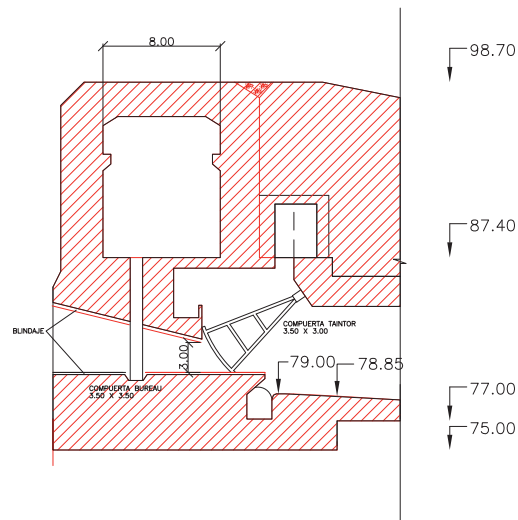


Desagüe intermedio
Sección longitudinal

forma hidrodinámica, con altura interior variando entre 20 m a la entrada y 4 m en la conexión con los conductos de carga. Posee una reja de entrada, de hormigón armado, con objeto de evitar la entrada a los conductos de grandes cuerpos flotantes que pudieran dañar los elementos hidromecánicos situados en el interior del desagüe.

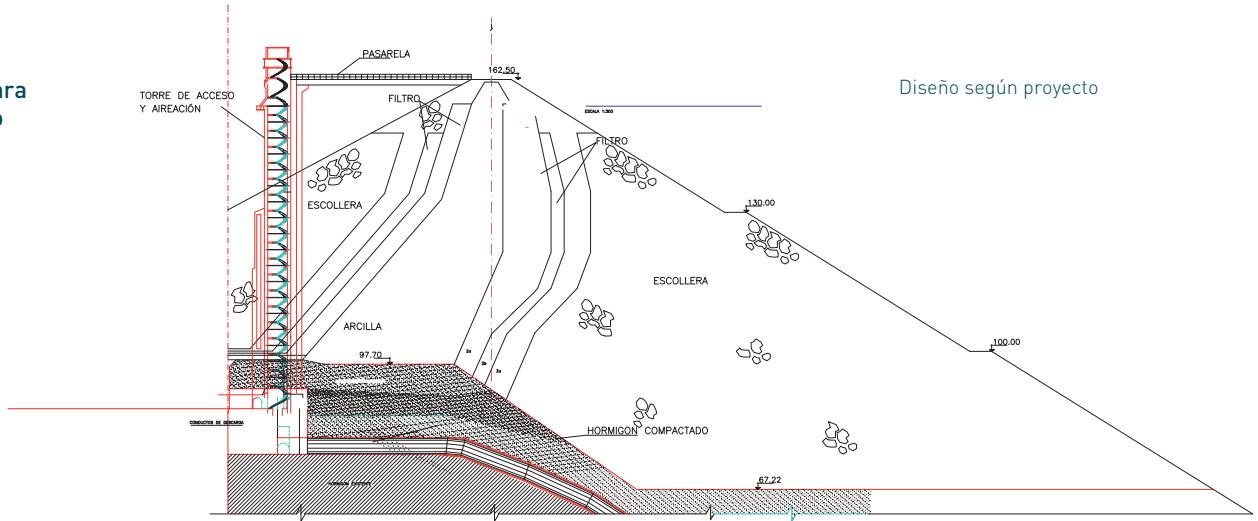
Siguen los **cuatro conductos de carga**, con una longitud de 48,3 m, que son de sección rectangular de 5x4 m y están alojados en cuatro bloques de hormigón separados por juntas impermeabilizadas y cimentados sobre roca caliza. La solera de estos conductos se encuentra a la cota 80.

A continuación, la **cámara de compuertas** se apoya en el macizo de hormigón del aliviadero de la presa antigua y en ella se han dispuesto los cierres de control y seguridad del desagüe. Los cierres de

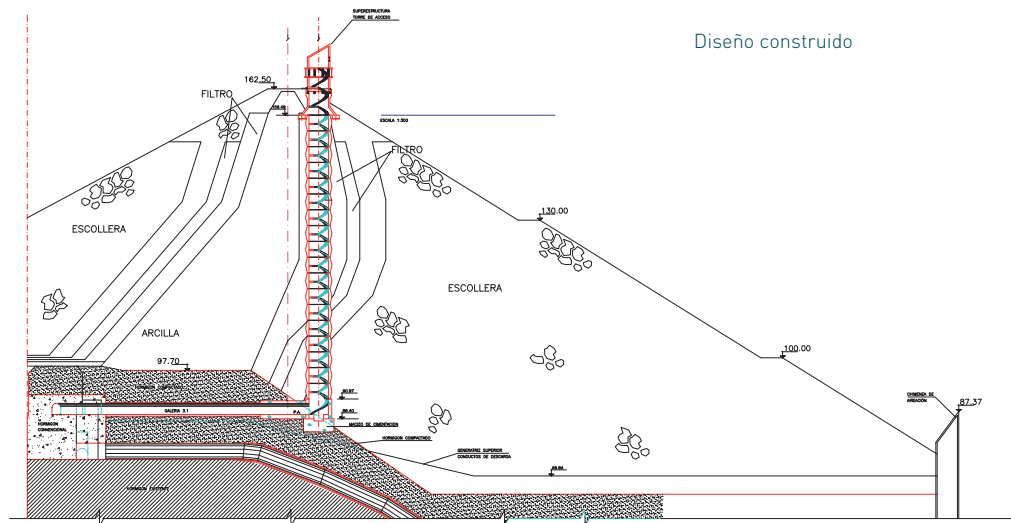


Cámara de compuerta del desagüe intermedio
Sección

Torre de acceso a cámara del desagüe intermedio

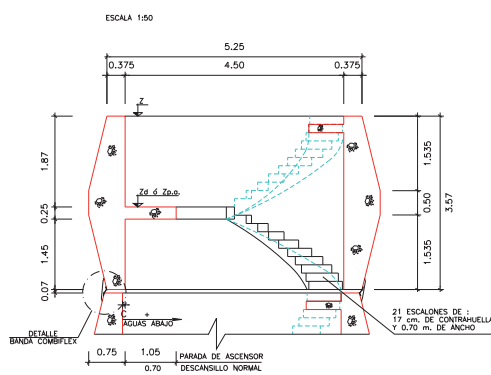


Diseño según proyecto

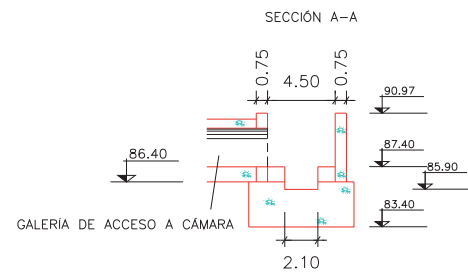


Diseño construido

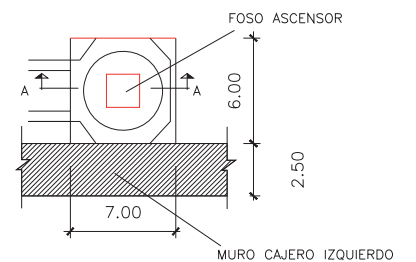
Torre de acceso. Módulo tipo



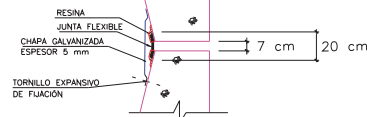
Torre de acceso. Estructura de cimentación



SECCIÓN B-B



Detalle de junta entre módulos prefabricados



seguridad están formados por compuertas deslizantes, tipo Bureau, de 3,50 m x 3,50 m de sección. El cierre de control está formado por 4 compuertas tipo Taintor, de 3,50 m x 3 m. El acceso a la cámara de compuertas puede hacerse por tres vías independientes.

Y por último, **los conductos de descarga** están situados igualmente sobre la estructura de hormigón del aliviadero antiguo. En el primer tramo, de 84,2 m. Los cuatro conductos están alojados en dos bloques de hormigón, cada conducto es de 5 m de anchura y altura variable, separados por una junta longitudinal. En el tramo siguiente, y hasta su salida al exterior, las pilas que separan los conductos de cada bloque desaparecen, quedando reducido el desagüe a dos únicos conductos de 11,50 m de anchura y 24 m de altura entre solera y clave, formando una estructura monolítica muy protegida, con espesores de 3 m en hastiales y de 2 m en bóvedas, fuertemente armadas debido a las importantes solicitaciones que gravitan sobre la misma.

Este tramo de conductos se apoya, en toda su longitud, en el cuenco de amortiguación de energía del antiguo aliviadero, sobre el que se ha efectuado un relleno de hormigón compactado con rodillo vibratorio de 8 m de espesor alcanzando la cota 41. Sobre el relleno han sido construidas las losas de los conductos de 4 m de espesor, con importante disposición de armaduras. Cada losa tiene 15 m de longitud y las juntas entre losas llevan disposición en artesa, estando además impermeabilizadas por medio de bandas de PVC. En el punto de intersección de la rápida de los conductos de descarga con el tramo horizontal de salida, se han situado los dientes de rotura de energía, cuatro por conducto, de dimensiones 1,65 x 2,0 m.

El diseño del sistema de aducción de aire a la cámara de compuertas consiste en un conducto que, partiendo del aguas abajo de la presa, mantiene en todo momento una sección mínima de 11 m².

Atendiendo a su trazado, cabe diferenciar al menos tres zonas en las que el conducto cambia de sección y tipología. Estas son, en el sentido de avance: chimenea de aireación, conducto circular de 3,75 m de diámetro y zona de acceso a la cámara.

Dado que, como indicábamos anteriormente, estamos en el centro neurálgico de la presa, este espacio se concibió para que se pudiera llegar a su cámara de mecanismos por tres caminos diferentes: desde margen derecha habilitando un trayecto a través de galerías existentes, un nuevo acceso desde una plataforma de aguas abajo de la presa ubicada sobre el cuenco de amortiguación

del desagüe (margen izquierda), y un tercer acceso desde coronación.

El acceso desde coronación se realiza a través de la torre compuesta por módulos prefabricados, que conecta con una galería de 68 m de longitud y sección 2 x 2,50 m, y discurre en todo su trazado hasta la cámara a cota 87,40.

Regulando el paso del agua: los equipos hidromecánicos

Los mecanismos y equipos hidromecánicos incluidos en el desagüe intermedio son los siguientes:

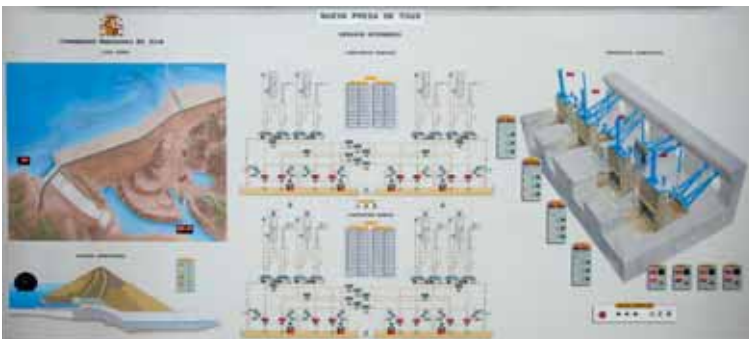
Cuatro compuertas deslizantes de seguridad, tipo Bureau, de 3,50 x 3,50 m, incluyendo sistema de aireación y by-pass, que permiten la regulación con alturas superiores a 100 m. La tajadera de la compuerta pesa 9,6 Tn y es accionada mediante servomotor.

Cuatro compuertas radiales de regulación, tipo Taintor. Miden 3,50x3,00 m y están formadas por una estructura a base de perfiles laminados con un peso por compuerta de 47 Tn, incluyendo el lastre de 36 Tn para que la compuerta cierre por su propio peso.

Sistemas de accionamiento. Tanto las compuertas deslizantes como las radiales están accionadas mediante un servomotor oleohidráulico de doble efecto convenientemente dimensionado. Para garantizar la seguridad de accionamiento se han duplicado los circuitos y equipos de control de cada servomotor. Además existe un grupo autónomo de emergencia con motor de explosión diesel, de una potencia de 5,3 Kw, capaz de accionar cualquiera de los servomotores, tanto de las compuertas deslizantes como de las radiales.

Conjuntos de blindaje para conducto de sección rectangular. Cada uno de los blindajes instalados consta de tres piezas: anterior, posterior y auxiliar. Entre las dos primeras se ubican las compuertas deslizantes, unidas a ellas mediante bridas atornilladas aguas arriba y soldadura aguas abajo.

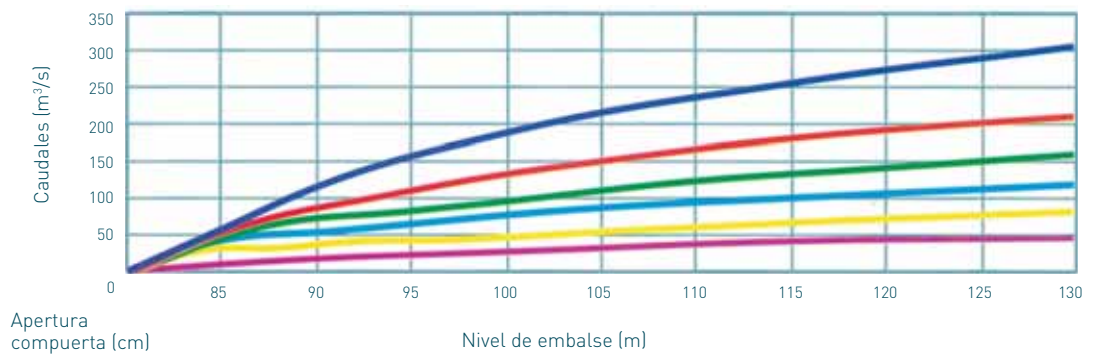
Un cuadro sinóptico permite el mando, control y señalización de todo el equipamiento del desagüe intermedio. El conjunto se completa con un puente grúa birrail, un polipasto ubicado en la galería de acceso a cámara de válvulas por la margen izquierda, cuatro bocas de hombre para acceder al balcón de mantenimiento de las compuertas radiales y una plataforma para inspección y mantenimiento de los equipos hidromecánicos.



Cámara de compuertas del desagüe intermedio. Equipos y panel sinóptico

Curva de descarga de compuerta del desagüe intermedio

Caudales (m³/s)



La construcción

Dado que el desagüe intermedio se realizó sobre la estructura del aliviadero de la anterior presa, los primeros trabajos consistieron en la adaptación de dicha estructura para que pudiera servir de apoyo y dar continuidad a la nueva.

Los trabajos se iniciaron en la segunda mitad de 1990, con la demolición de aquellas estructuras no necesarias o que debían ser reconstruidas para adaptarlas al nuevo diseño del desagüe. Es el caso de las pilas centrales, donde se ubicaban las compuertas y los restos existentes del cajero izquierdo. Por otra parte, a partir de mayo de 1991, comenzaron los agotamientos y la posterior extracción de los materiales arrastrados por las aguas y depositados en el cuenco amortiguador, así como la demolición escalonada y el saneo de toda la zona de la rápida donde iban a apoyarse los conductos de descarga.

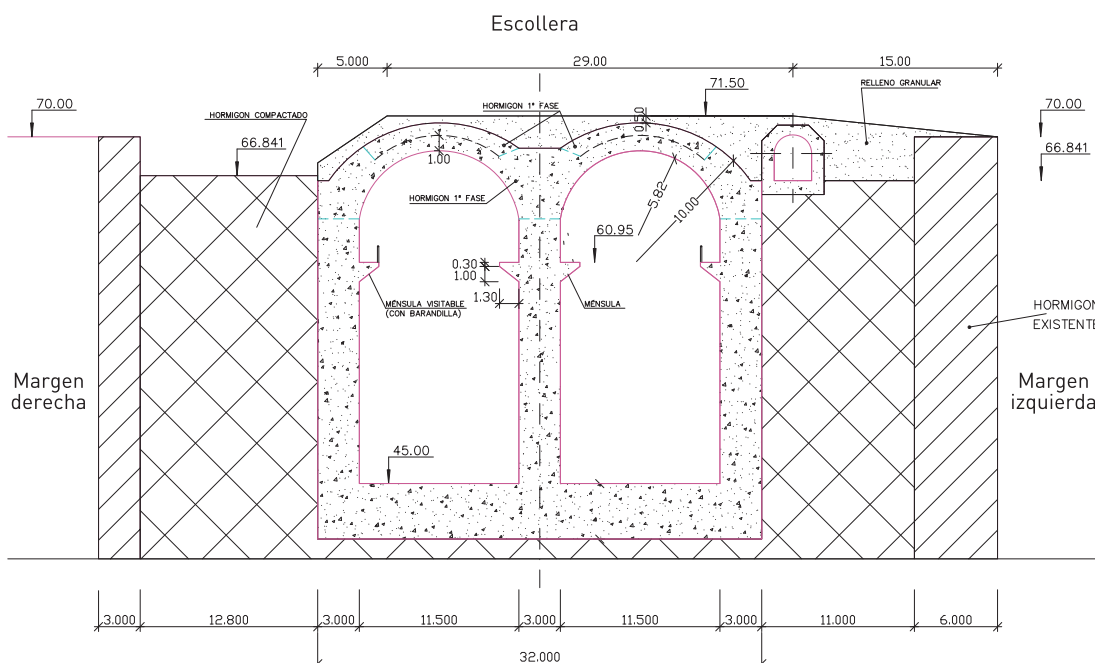
Entre las obras de reconstrucción necesarias se encontraba el cajero izquierdo, con una altura de hasta 26 m, el cual debía ser proyectado para soportar el empuje de los rellenos durante el período de construcción y permitir, además, la ejecución de los conductos de salida del nuevo desagüe sin interrumpir los trabajos en el cuerpo de presa.

A partir de septiembre de 1991 se inició la colocación de hormigón compactado en la zona del cuenco, realizando un relleno de 8 m, para luego

cimentar sobre este los conductos de salida del desagüe. Para transportar el hormigón desde la planta, ubicada a unos 250 m, hasta el cuenco, se utilizó una cinta transportadora tipo Rotec que a su vez descargaba en camiones que lo distribuían en la zona. Este sistema de ejecución permitió alcanzar rendimientos de 3.400m³ diarios.

Paralelamente se ejecutaron los hormigones de tipo convencional, que iban conformando la estructura del desagüe. Estos hormigones eran suministrados por otra planta situada aguas arriba. En agosto de 1992 se completaron los trabajos previstos en la fase 1 del proyecto, quedando el desagüe en condiciones de poder aliviar un caudal de hasta 5.500m³/s en caso de producirse una avenida.

Dentro de esta primera fase es importante mencionar la ejecución de los conductos de salida y, en particular, lo referido a la construcción de las bóvedas. La realización del hormigonado de las mismas se había previsto en una única fase, sin juntas constructivas, pero dadas las dimensiones de la estructura se estudió la posibilidad de construirlas en dos fases, facilitando con ello la colocación de las armaduras y reduciendo las cargas que debía soportar el encofrado. De esa forma, en una primera fase se ejecutaría un espesor que, una vez endurecido, serviría de encofrado para la segunda fase.



Conductos de salida del desagüe intermedio
Sección



Etapas en la construcción del desagüe intermedio, 1991-1992

Como método constructivo para el encofrado de las bóvedas, se dispusieron sendas ménsulas en los hastiales de cada conducto; de ese modo fue posible apoyar y deslizar sobre ellas un carro de 11,5 m de luz en el que iba montado el encofrado. Las ménsulas exteriores se aprovecharon posteriormente, transformándolas en pasarelas para la inspección visual de los conductos.

Por cada uno de los módulos de dos bóvedas de los conductos de salida (de 15 m de longitud) se utilizaron 95.000 Kg de acero para armaduras y 1.500 m³ de hormigón.

En diciembre de 1992 se reiniciaron los trabajos en el desagüe intermedio, ahora concentrados principalmente en la terminación de la cámara de

compuertas, donde hubo que coordinar el montaje de los distintos elementos hidromecánicos con la continuidad de la obra civil, ya que resultaba imprescindible terminar la segunda fase de construcción de la presa al final de agosto de 1993.

Las primeras compuertas colocadas fueron las Taintor, cuyo montaje se produjo a lo largo del mes de diciembre de 1992, continuando la obra de la cámara correspondiente a los muros perimetrales y obra civil interior, dejando los huecos para la ubicación de las compuertas Bureau. La primera de estas compuertas entró en obra el día 5 de febrero de 1993, comenzando su montaje tras alojarla en posición definitiva. La última compuerta Bureau llegó el día 3 de marzo.



Una vez instaladas y colocados sus elementos accesorios, como uniones, by-pass, etc, se procedió al hormigonado de toda la zona de alojamiento hasta terminar el piso de maniobras (cota 87,40). Así, al finalizar el mes de marzo únicamente restaba por ejecutar la losa de cubrición de la cámara en la que, previamente, se habían depositado todos los elementos hidráulicos de las compuertas para su posterior montaje. La cubrición se realizó durante la última semana del mes de abril. Ya solo restaba el montaje de cilindros y elementos situados en el piso de maniobras, pudiendo dar continuidad a los rellenos de presa para alcanzar la cota prevista. Daba así inicio la carrera que nos debía conducir, el 31 de agosto, al final de la II fase, con los rellenos de la presa a la cota 130.

Durante el mismo mes de abril de 1993, el desagüe quedó completamente terminado, habiéndose colocado unos 363.000 m³ de hormigón, de los cuales 180.000 m³ fueron del tipo HCR. Por su parte el hormigón estructural requirió un total de 6.400.000 kg de acero, lo que da una idea de la complejidad constructiva de la estructura que conforma el desagüe.

Dentro de los aspectos constructivos a destacar son de mencionar los correspondientes a la impermeabilización de la cámara de compuertas y el tratamiento de los conductos de salida para su protección ante el fenómeno de cavitación.

Rellenos del cuerpo de presa sobre el desagüe intermedio y construcción de la cámara de compuertas, 1993

Relleno cota 100-130

Colocación de compuertas en la cámara

Embocadura del desagüe intermedio

Sobre la cámara de compuertas

Dada su ubicación aguas arriba del núcleo, el proyecto preveía recubrir la cámara de compuertas con arcilla, prolongando a modo de repié el núcleo de la presa con el objeto de mejorar su estanqueidad. Previo a la construcción se efectuaron cálculos de deformación y estabilidad, comparando la solución de proyecto, es decir colocando 5 m de arcilla sobre el techo de la cámara, y una alternativa considerando un espesor mucho menor. Los resultados del estudio demostraron que la solución proyectada producía un aumento de las deformaciones y una disminución de los coeficientes de seguridad en el cálculo de la estabilidad de los rellenos. Si bien en ambas soluciones se cumplían los valores mínimos establecidos por la *Instrucción de Grandes Presas*, se procedió a reducir a 1 m el espesor de arcilla sobre la cámara, con lo cual los parámetros de deformación y estabilidad se situaban, aún más, del lado de la seguridad.

Como medidas adicionales, tendentes a la impermeabilización de la cámara, se recubrió toda su superficie con pintura a base de resina de poliuretano y todas las juntas con los hormigones adyacentes fueron selladas con masilla de polisulfuro. Además se procedió a la colocación de bandas rígidas de PVC en la unión entre tongadas.

Un punto crítico: los conductos de descarga

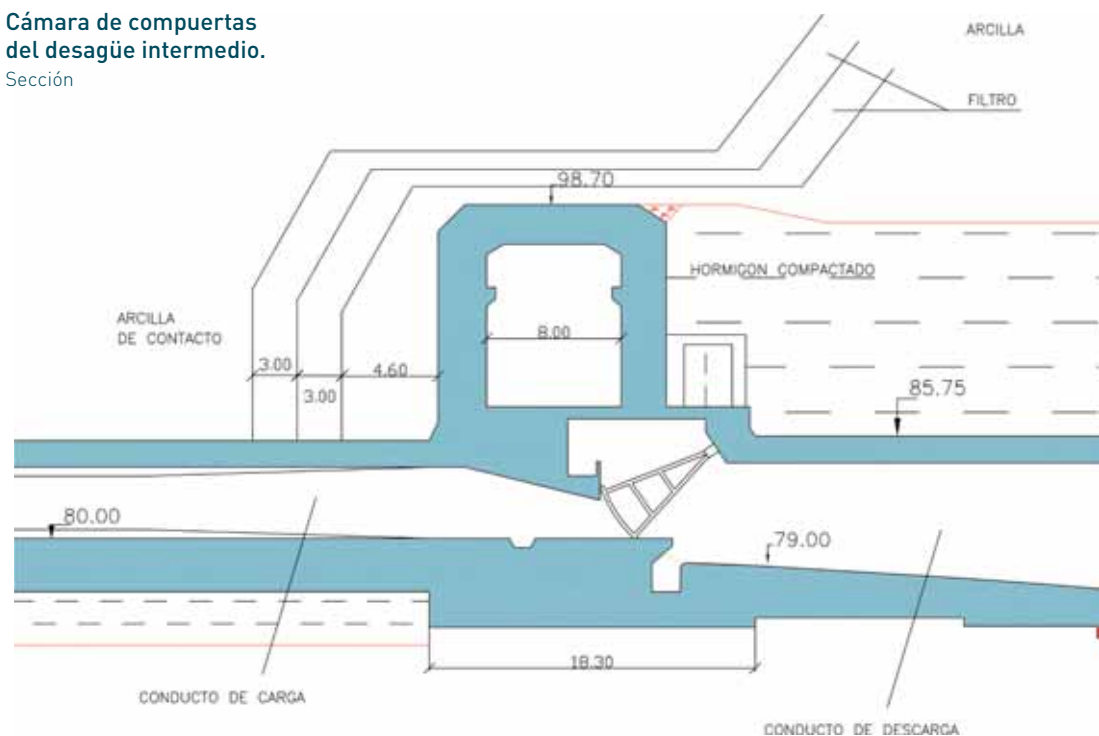
Los conductos de descarga del desagüe intermedio están sometidos a flujos de alta velocidad y, por tanto, al riesgo de fenómenos de cavitación. Se sabe que estos fenómenos comienzan a producirse para velocidades del orden de 16 a 18 m/s, y a partir de esta velocidad los riesgos aumentan en una proporción con una potencia de la velocidad de 5 a 8.

Dentro de la estructura del desagüe existen dos zonas especialmente críticas en cuanto al riesgo citado. Estas son: la zona inmediatamente aguas abajo de las compuertas radiales, en una longitud de 30 m aproximadamente y la zona aguas abajo de los dientes estabilizadores y los propios dientes. En ambas zonas las velocidades del flujo, para el caudal de diseño, son del orden de 28 m/s y 35 m/s respectivamente.

En las nuevas obras llevadas a cabo se ha procedido, como veremos más adelante, a la colocación de un blindaje metálico que proteja el hormigón de las posibles erosiones, así como a la construcción de dos azudes que creen el colchón de agua sobre el que debe romper la energía el flujo de salida.

Cámara de compuertas del desagüe intermedio.

Sección







Vista detallada de las dos torres de toma de agua desde la presa

La toma de agua

Aguas arriba, adentrándose en el embalse, se alcanzan dos esbeltas torres unidas por una pasarela. Son la parte más visible de un sistema que se complementa con túneles, compuertas y, ya del otro lado del gran dique, un estanque para regular caudales. El conjunto está destinado a captar el agua embalsada de mejor calidad. Con ella, a través del canal Júcar-Turia, se asegura el consumo de los muchos habitantes de Valencia, su área metropolitana y Sagunto y se apaga la sed de muchas hectáreas de regadío.

Para tomar el agua embalsada por la presa, se diseñó un sistema que debía cumplir diferentes objetivos:

- Suministrar la demanda del canal Júcar-Turia tanto para riego como para abastecer a Valencia y su área metropolitana. Posteriormente se ha incorporado el suministro de agua a Sagunto y el riego localizado de la Acequia Real del Júcar.
- Suministrar caudales al río Júcar para el regadío de la Ribera.
- Permitir el aprovechamiento hidroeléctrico a pie de presa.

La ubicación de todo el sistema, en la margen izquierda de la presa, respondía a la necesidad de

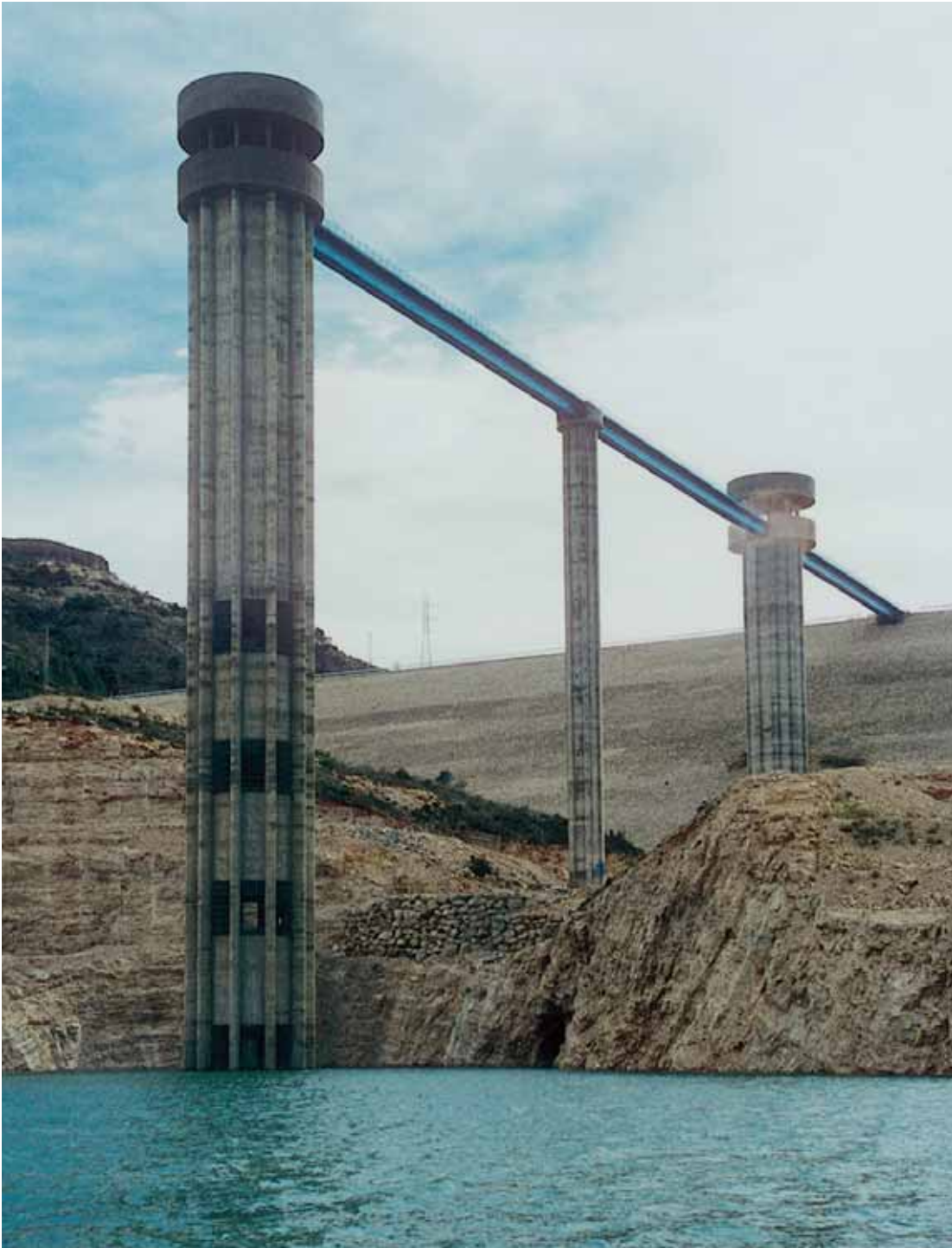
enlazar directamente y con la menor longitud posible con el Canal Júcar-Turia, ya construido. Además se pudo verificar que, en esa zona, las condiciones de cimentación para las torres que era preciso construir eran aceptables al establecerse en macizos de roca caliza poco alterados.

Dentro de este sistema encontramos dos grupos de estructuras diferenciadas: la obra preparada para la toma de agua propiamente dicha y la obra destinada a controlar la salida.

Dos torres y dos túneles para la toma de agua

Para la entrada de agua encontramos, en primer lugar, una torre desde la que se produce la toma, a continuación un túnel que conduce el líquido y después una segunda torre, llamada torre de compuertas. Finalmente se encuentra una nueva conducción en túnel que desemboca en el sistema de salida del agua.

La **torre de toma** está destinada a captar el agua embalsada y que abastecerá a cerca de un millón y medio de habitantes. Se trata de una torre de hormigón armado construida con encofrado deslizante, que tiene 109,70 m de altura, con sección cilíndrica de 6 m de diámetro interior, con 10 pilas



que dan rigidez a la torre y que conforman la embocadura de las cuatro tomas. Estas cuatro tomas de agua, situadas a diferente nivel, son un diseño destinado a poder seleccionar, en función del nivel de embalse, la calidad de las aguas disponibles. En el exterior de las pilas y en cada embocadura se han instalado rejillas fijas para impedir el paso de cuerpos flotantes al interior del conducto.

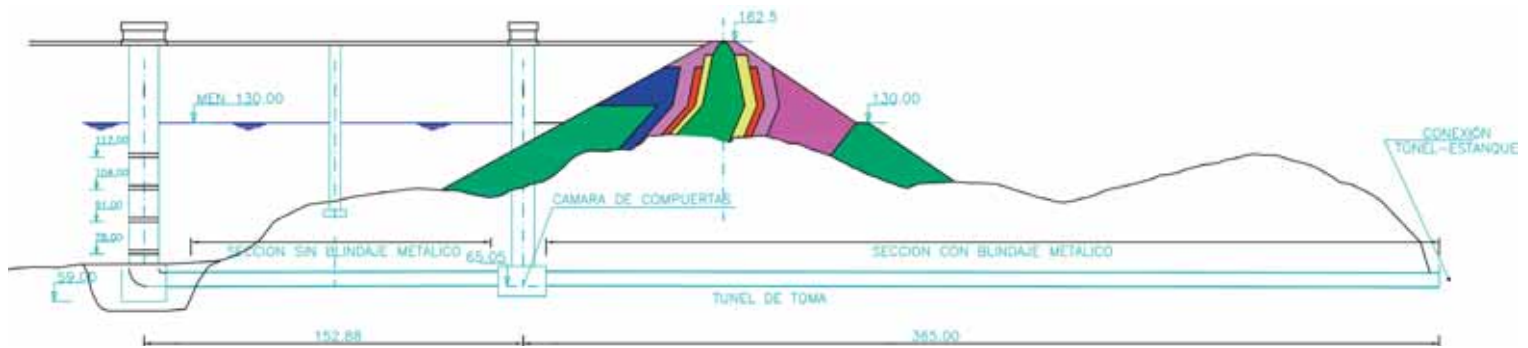
En el interior de la torre se ubican unas compuertas cilíndricas, cada una de las cuales está forma-

da por un cilindro de 6,5 m de diámetro exterior y 4,3 m de altura contruidos en chapa de acero soldado de 22 mm de espesor. Cada compuerta es accionada por tres cilindros oleohidráulicos fijados al piso de la cámara, a la cota 162,5, completándose la instalación con un pupitre de mando electrohidráulico, donde se aloja el autómata que gobierna los equipos.

Desde aquí, el agua pasa a la **conducción torre de toma-torre de compuertas**. Se trata de un túnel

Vista de la torre de toma y pila intermedia desde el embalse

Perfil longitudinal por eje del tunel



Equipos hidromecánicos en la torre de compuertas

Etapas de construcción en la torre de toma

revestido de hormigón armado, de 6,20 m de diámetro y de 150 m de longitud, con una transición circular a rectangular, también de hormigón armado, de 6,50 x 4 m a la llegada a la zona de compuertas.

Llegamos ahora a la **torre de compuertas**, una estructura de hormigón armado de morfología y altura similar a la anterior. También fue construida con encofrado deslizante y, junto a la anterior, compone una elegante figura simétrica. Su presencia permite cerrar el túnel completamente, para lo cual se han alojado una compuerta vagón y una ataguía de 6,50 x 4 m. Por debajo de la cota 100,15, el tramo del fuste de la torre queda hormigonado contra una excavación en pozo, con un diámetro exterior de 9 m y un espesor de pared de 1 m. Por encima de la cota 100,15 la torre es exenta, incorporando los nervios verticales que se distribuyen sobre el perímetro exterior del fuste.

Dentro de la torre se han situado dos conductos de aireación de 1 m de diámetro y en el tramo superior se han alojado las cámaras para la revisión de las compuertas y para el almacenamiento de los mecanismos de elevación.

La instalación se completa con una compuerta vagón de servicio, de 6,60 m de altura por 4,0 m de anchura, provista de 12 rodillos. Esta compuerta va lastrada con 4,5 Tn para permitir el cierre por su peso propio, con presiones equilibradas, a una velocidad de 0,3 m/min y de 2,5 m/min en condiciones de "cierre de emergencia" con presiones desequilibradas. Para asegurar el equilibrio de presiones se dispone de un dispositivo de by-pass con una válvula de 320 mm de diámetro. Su accionamiento se realiza mediante servomotor y grupo oleodinámico.

Siguiendo el recorrido del agua, llegamos ahora a un nuevo túnel, la **conducción torre de compuertas-estaque de distribución**.

Este nuevo túnel tiene 5,40 m de diámetro interior, con una transición en el origen del mismo desde una sección rectangular de 6,50 x 4 m a la circular. Toda la conducción está revestida con blindaje de acero, de 18 mm de espesor en su tramo inicial y 15 mm en el resto. La conducción tiene dos bifurcaciones a lo largo de su recorrido para alimentar, en el futuro, a los aprovechamientos hidroeléctricos. También dispone un elemento de desagüe de la conducción que será utilizado hasta que se construya la central hidroeléctrica prevista, ya que cuando ésta se encuentre en explotación, el vaciado del túnel de toma se realizaría a través de la misma.

La construcción de las torres

De toda la obra civil arriba citada, **la torre de toma** es la que tiene mayor complejidad de ejecución debido a la existencia de las cuatro aberturas a diferente nivel por las que penetra el agua; su presencia obligaba a cambios de encofrado con disposición de las formas geométricas que definieron los labios inferiores y dinteles de cada una de las embocaduras. Se trata, además, de una torre de gran altura en la que fueron deslizados 86 m, utilizándose para su hormigonado una grúa exenta arriostrada al terreno de 110 m de altura bajo gancho. Los rendimientos medios conseguidos fueron de unos 2,5 metros por día.

La segunda estructura, la **torre de compuertas**, se construyó en dos fases. En la primera se trabajó en pozo excavado hasta la cota 101, donde salía al exterior. En la segunda fase la obra fue exenta, hasta su coronación. El total de metros deslizados de fuste fueron 83,5 a partir de la zona superior de la cámara de alojamiento de las compuertas. En este tramo, el hormigonado se ejecutó contra la roca de excavación, que previamente había sido



Vista general del estanque de regulación

Sala de control de la casa de válvulas

Panel de control de la casa de válvulas

gunitada, por lo que solo fue necesaria la colocación del encofrado en el interior de la torre. El tramo exento se ejecutó en veinte días hábiles, con rendimientos de más de 4 metros por día. Entre las dos torres se encuentra la **pila intermedia**, una estructura que tiene como función única el permitir el apoyo de dos tramos de pasarela metálica para salvar la distancia de 150 m existente entre ambas torres.

Blindando el túnel de toma

El tramo blindado correspondiente al túnel de toma, de 5,40 m de diámetro, que se desarrolla entre la torre de compuertas y el estanque de regulación, está conformado mediante virolas, de longitud aproximada 6 m, excepto en curvas y bifurcaciones.

Para la formación de las virolas que constituyen la conducción se construyó, a pie de obra, un taller auxiliar para realizar los trabajos de montaje de los sectores circulares, y los de soldeo automático por arco. La unión de las virolas en el interior del túnel se realizó mediante soldeo semiautomático con arco en atmósfera gaseosa.

Una vez soldadas las virolas y dispuestas en su posición definitiva, se procedió a ejecutar el hormigonado de relleno entre blindaje y excavación del túnel a través de las bocas de hormigonado dejadas al efecto en cada una de ellas. Posteriormente fue realizada una inyección en los contactos hormigón-virola y hormigón-roca, con objeto de rellenar los posibles despeques existentes en dichos contactos.

Un estanque para regular la salida del agua

Después de un largo recorrido, el agua llega al otro lado de la presa. Y desde el túnel, que tenía 5,40 m de diámetro, el líquido pasa a una tubería de 3,25 m que, finalmente, se trifurca en tres tuberías más de 1,5 m de diámetro cada una. Estas tres tuberías, que se encuentran embebidas en un macizo de hormigón armado, se albergan en **la casa de válvulas**, un edificio de hormigón de 21 x 6,5 m de planta y 18 m de altura, desde donde el agua se vierte a un **estanque de regulación y distribución**. Este estante está destinado a mantener estables los caudales que se envían al canal y toma la forma aproximada del sitio donde se ha instalado, la vaguada del barranco Aliagar. El cerramiento del estanque se ha efectuado con muros verticales de hormigón armado, con relleno de tierras en el trasdós que conforma el camino de servicio. La

solera del estanque se ha realizado también de hormigón armado con espesor de 0,25 m, apoyada sobre una capa de 0,20 m de material drenante. La cota de la solera se ubica a la 76,77.

Los equipos que se ocupan de regular el paso del agua hasta el estanque están instalados dentro de la casa de válvulas y son **tres válvulas Howell-Bunger** de 1,5 m de diámetro, diseñadas para funcionamiento sumergido, que están precedidas de tres válvulas tipo compuerta de seguridad de 1,5 m de diámetro y cierre en cuña.

Para permitir que la válvula Howell funcione sumergida en el cuenco amortiguador, se incorporó un deflector cónico de 5,5 m de diámetro máximo. El funcionamiento de este deflector no ha sido el esperado después del ensayo reducido llevado a cabo en Lisboa en el Laboratorio Nacional de Engenharia Civil produciendo vibraciones de gran magnitud. En las recientes obras de terminación, se ha sustituido por un deflector cilíndrico que hasta la fecha está funcionando con óptimos resultados.

Para poder aislar cada una de las tres válvulas Howell del estanque de regulación, se dispone de una ataguía ubicada aguas abajo de las válvulas.

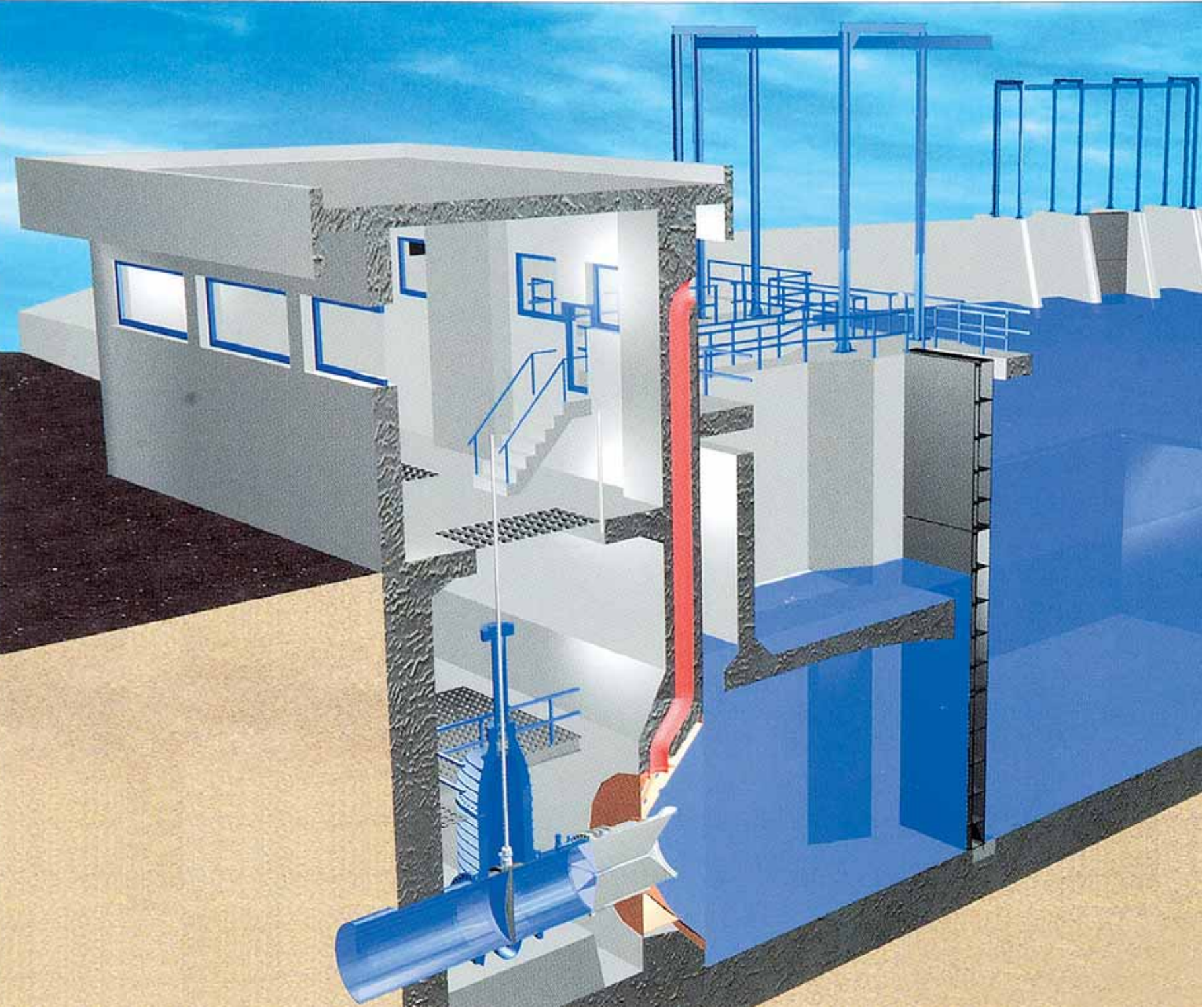
Todo el equipo eléctrico para el mando, control y señalización se ubica en el cuadro sinóptico instalado en el nivel superior de la casa de válvulas. Desde este cuadro, además del control de las válvulas Howell y válvulas de compuerta, también se efectúan las maniobras de apertura y cierre de las compuertas del canal Júcar-Turia y del desagüe de fondo del estanque que vamos a ver a continuación.

Excavando el estanque de regulación

Dado que el emplazamiento del estanque de regulación estaba situado sobre depósitos cuaternarios, fue necesario ejecutar una importante excavación, en la zona de cimentación de la casa de válvulas, con objeto de alcanzar la formación rocosa existente por debajo. En el resto de la superficie ocupada por el recinto de la balsa, y concretamente en la zona de losas, se efectuó un relleno compactado con escollera de gran calidad para alcanzar la rasante prevista en el proyecto; sin embargo, en las zonas de apoyo de los muros perimetrales circundantes a la embocadura del túnel de conexión al canal Júcar-Turia, fue necesario también retirar los depósitos cuaternarios hasta alcanzar el sustrato rocoso. La sobreexcavación fue restituida, hasta la cota prevista, a base de hormigón ciclópeo.



ESTANQUE DE REGULACIÓN

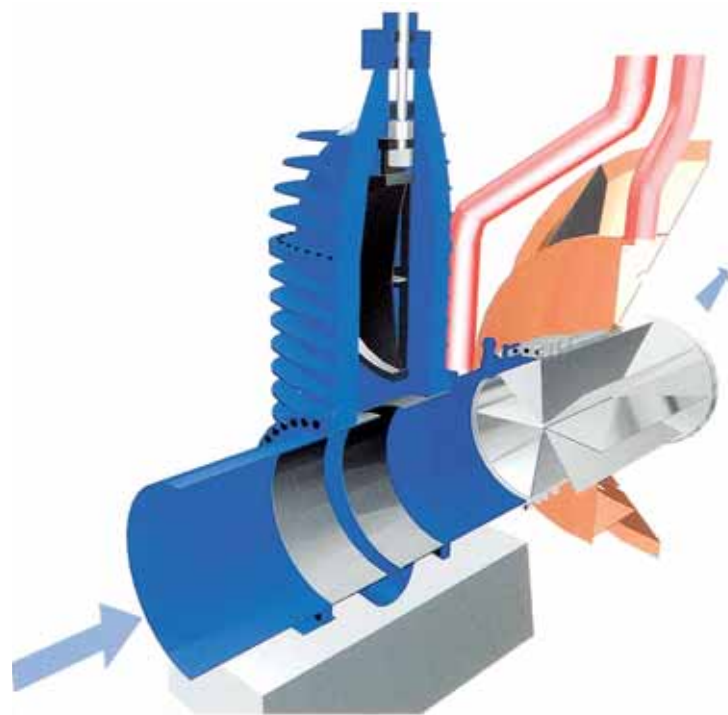




Toma de agua. Equipos hidromecánicos



Trifurcación



Conjunto de Válvula Compuerta y Howell Bunger





Una salida de agua, varios destinos

Desde el estanque de regulación, el agua se distribuye según el destino final que vaya a tener.

El caudal que va a servir para el consumo humano y el riego se envía a la **toma del canal Júcar-Turia**. Está situada en la margen izquierda del estanque y conecta con el mismo gracias a un túnel de aproximadamente 123 m de longitud y sección abovedada de 4,78 m de anchura y 4,64 m de altura. La capacidad de este canal es de 32 m³/s.

Para regular esta toma se encuentran tres compuertas Taintor de 2,5 m de anchura por 5,8 m de altura, accionadas por grupos moto-bomba individuales. Para el cierre de emergencia o para aislar las compuertas en caso de reparación o mantenimiento, hay dos ataguías situadas la primera aguas arriba y otra aguas abajo.

Aunque una gran parte del caudal se destina al consumo humano y agrícola, otra parte es reintegrada al propio río Júcar, para lo cual se utiliza el **vertedero lateral**. Este vertedero se encuentra en el estanque y permite que el agua rebose por él, vertiendo a un canal que la conduce hacia una rápida que, a través de un cuenco de amortiguación, vierte finalmente sobre el río a razón de 89,5m³/s.

El vertedero tiene una longitud de 32 m y tiene el labio situado a la cota 81,00. Su labio se dispone en forma poligonal, lo que responde a la necesidad de incorporar en un espacio reducido la máxima longitud de vertedero. La evacuación de caudales

se realiza mediante una transición de 8,00 m de longitud a una sección de control que garantiza el régimen lento a la entrada del conducto en falso túnel.

La rápida, una estructura en forma de trampolín, presenta una disposición en falso túnel durante sus primeros 4 m, pasando a continuación a ser un canal de 9,50 m de anchura, con un muro partididor central. Y el cuenco de amortiguación, por su parte, se ha construido con dos filas de dientes disipadores de energía dadas las características del caudal y la altura de caída (la rápida tiene origen a la cota 72,10 y final a la cota 49,06). Dichas filas dentadas están, una en la llegada de la rápida y otra al final del cuenco.

Finalmente hay que señalar en este grupo de estructuras la presencia del **desagüe profundo**, un elemento situado en el fondo del estanque para que sea posible vaciarlo en caso de mantenimiento y reparaciones. Este desagüe comunica con un canal en falso túnel de 4,50 x 3,00 m de dimensión y que, tras recorrer una distancia de 8,50 m, confluye con el canal procedente del vertedero lateral y, por lo tanto, a la rápida, el cuenco de amortiguación y, en última instancia, al río Júcar.

Este desagüe profundo del estanque dispone, para su regulación, de dos aberturas de 2 x 1,5 m controladas por compuertas Taintor de estas mismas dimensiones cuyo accionamiento se realiza mediante un sistema oleohidráulico con tres motores trifásicos.

^ Cuenco de salida del estanque de regulación

< Estanque de regulación en construcción

Vista de las compuertas a la salida del desagüe de fondo

El desagüe de fondo

Situado en la parte inferior de la presa (de ahí su nombre), este desagüe atraviesa el dique por su zona más ancha, sumando una longitud de más de 150 m entre la embocadura, donde se toma el agua, y la salida. En su interior, cuatro compuertas permiten desaguar hasta 370 m³/s. Este órgano de desagüe de la presa, junto a la instalación de bombeo existente hace posible que, en caso de extrema sequía y con la torre de toma inutilizada por el descenso del agua embalsada, se pueda bombear agua al canal Júcar-Turia para el suministro de agua a Valencia y Sagunto y para riegos.

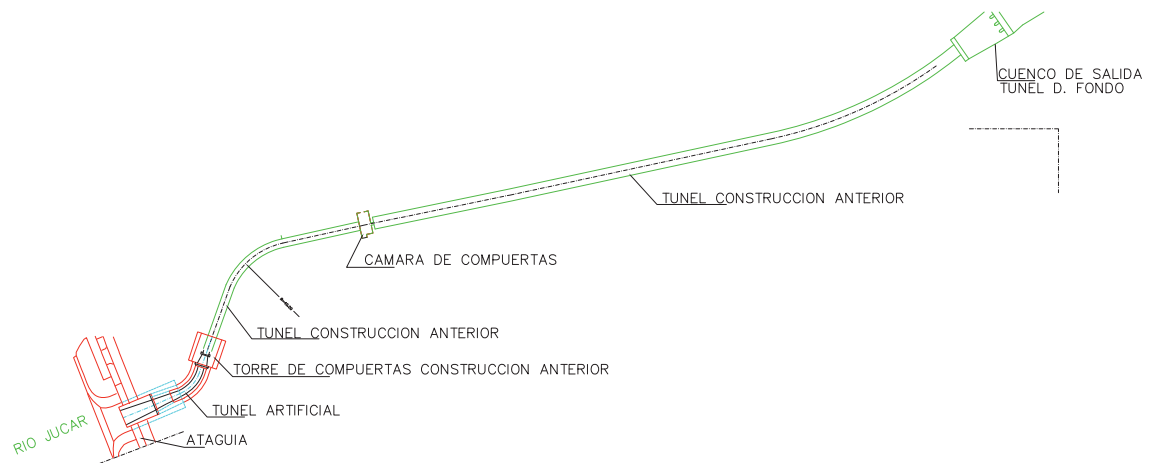
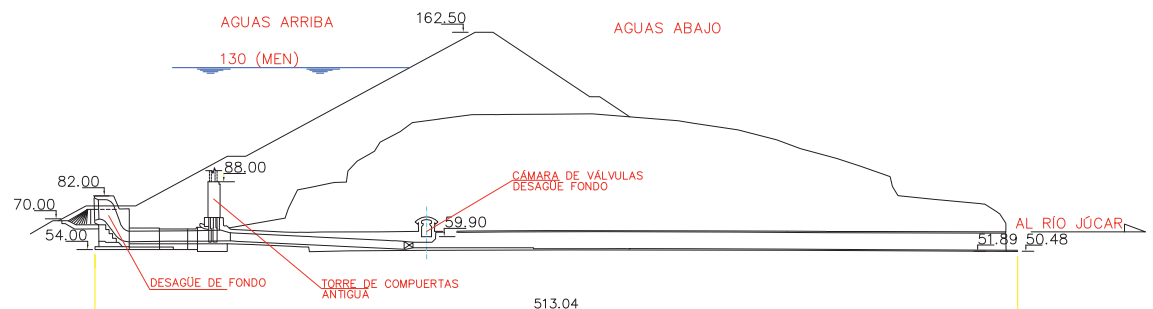
El desagüe de fondo de la actual presa, ubicado en la margen izquierda, utiliza en gran parte las obras ya construidas para el desagüe de fondo de la obra antigua. El desagüe se inicia con una embocadura que, seguida de un túnel, llega hasta una cámara de compuertas; a partir de ella encontramos un nuevo túnel, ahora de salida.

El último desagüe

La embocadura se ubica sobre la ataguía y tiene su umbral a la cota 70. A continuación se inicia un túnel artificial de planta curva construido a cielo abierto con sección variable entre 5,60 x 5,50m y 3,30 x 5,50 m. Su longitud es de 54 m y está cimentado sobre acarrees que fueron tratados con Jet Grouting. Este falso túnel, que conecta con la embocadura del antiguo, llega hasta la cámara de válvulas. El túnel está blindado, es de sección circular con diámetro interior de 4,5 m y una longitud de 99 m.

La cámara de compuertas de la anterior presa se ha aprovechado en su totalidad, si bien ha habido que realizar la demolición y vaciado desde su soleira, así como el desmontaje de las dos compuertas existentes (una por conducto) y de los blindajes de éstas. También se ha efectuado una ampliación de

Perfil y planta del desagüe de fondo







Salida del desagüe de fondo

2 m, en el sentido del eje de la presa, con el objeto de poder alojar en ella cuatro compuertas tipo Bureau de 2,0x3,0 m, dos para cada conducto, con todo su equipamiento, ventosas, by-pass, etc.

A la cámara de compuertas se puede acceder por dos caminos. Se puede llegar utilizando la galería G.8 que nace en el paramento de presa de aguas abajo, a la cota 80 y termina en la cámara. También es accesible mediante la red de galerías de la margen izquierda.

El túnel de salida coincide en su totalidad con el túnel preexistente. A la salida de la cámara, en una longitud de 30 m, se desarrolla la transición blindada, que permite pasar de dos a un conducto, de sección abovedada de 6,40 m de anchura en la solera. Esta sección se mantiene prácticamente invariable hasta su salida, con un recorrido de 277 m. El túnel desemboca en un cuenco de unos

37 m de largo, de sección trapezoidal, con 8,36 m de anchura en la solera. Este cuenco está dotado en su parte final de unas compuertas, distribuidas en cuatro vanos, cuya finalidad es la de mantener un nivel adecuado de agua para permitir el bombeo al canal Júcar-Turia, dado que en dicho cuenco se localizan las tomas de la correspondiente estación de elevación. Esta estación se construyó como consecuencia del desmoronamiento de la antigua presa y ante la perentoria necesidad de seguir abasteciendo de agua a Valencia y su área metropolitana.

Los equipos hidromecánicos para el control del desagüe de fondo son cuatro compuertas Bureau, de 2,0x3,0 m, con accionamiento hidráulico mediante servomotores. Pueden soportar una carga de agua de 120 m y su velocidad de apertura y cierre es del orden de 0,20 m/min.

Construcción a cielo abierto

La construcción del desagüe de fondo estuvo determinada por fases diferenciadas: por una parte, la correspondiente a la embocadura y el túnel artificial hasta su conexión con el antiguo túnel; por otra, la ampliación de la cámara de compuertas con objeto de alojar los nuevos mecanismos proyectados.

Para la zona de la embocadura y túnel artificial a construir, la cimentación sobre la que se debía apoyar estaba constituida por acarrees del río de espesor variable, teniendo un máximo de unos 14 m contados desde la cota 54 de cimentación y donde en su día fue construida una losa de hormigón que servía de "babero" para los vertidos de la ataguía. Inspeccionada la losa se observó que tenía las juntas movidas y que había experimentado asentamientos, quizá debido a la erosión del terreno sobre el que se apoyaba. En principio el proyecto estimaba, como procedimiento a emplear para el tratamiento de la cimentación, realizar una inyección de los acarrees del río previo confinamiento con dos pantallas de hormigón armado. Posteriormente y tras considerar distintas opciones, se llegó a la conclusión de efectuar una actuación a base de columnas de jet grouting bajo la losa existente.

Esta solución se materializó conformándose una malla con filas separadas un máximo de 2 m y profundidades variables, extendiéndose en una longitud que abarcaba desde la zona de embocadura del desagüe (cimentación de la ataguía) hasta el entronque del túnel artificial con el antiguo existente.

En la cámara de compuertas hubo que efectuar el vaciado de la misma desde la cota de la solera del piso de maniobra (cota 59,90) hasta su fondo de excavación (cota 52). Previamente se realizó la extracción de las antiguas compuertas. La demolición se ejecutó a base de voladuras controladas mediante geófonos y registradores, con objeto de verificar que estas voladuras no afectaban al hormigón circundante ni a las estructuras adyacentes. Terminado este proceso se inició la reconstrucción de la cámara con hormigón estructural, que fue especialmente complicado debido al reducido espacio dejado por los blindajes y conductos de aireación de las compuertas.

Con el montaje de los equipos hidromecánicos y los cuadros de control se dio fin a los trabajos de esta zona.



Equipos hidromecánicos y cuadros de control del desagüe de fondo





Galería en construcción y en estado final



Pozos y galerías

La red de galerías que recorre el interior de la presa sumando hasta 6 km de túneles, está compuesta por un corredor perimetral y varias galerías más en ambas márgenes, a distintas alturas e interconectadas mediante pozos. Son accesos imprescindibles para el control y mantenimiento de las instalaciones. De entre todos estos espacios subterráneos destacan por su singularidad dos torres que atraviesan la presa por su interior de arriba abajo: para hacerlas tan flexibles como el propio dique, se optó por construirlas a partir de módulos o anillos independientes de hormigón armado.

La presa cuenta con una amplia red de galerías con una longitud total cercana a los 6 Km. Una gran parte de ellas pertenece a la construcción anterior. En el estribo derecho se habían ejecutado tres galerías a las cotas 57, 84 y 108. En el estribo izquierdo se ubicaron cinco galerías a las cotas 34; 60; 73; 80 y 104. También estaban construidas las galerías inferiores, que recorren el contacto de la arcilla con el terreno en la zona del cauce. Estas últimas forman parte actualmente de la galería perimetral que acompaña al núcleo, en todo su recorrido, en la zona de apoyo con el terreno de cimentación; tiene su cota más baja en la zona del cauce, cota 29, se eleva a la cota 141 en la margen

derecha y a la cota 156 en la margen izquierda.

En la cota 29, la galería perimetral se ramifica en las galerías 18, 18.1 y 18.2 con una sección libre de 2 x 2,60 m y revestidas de hormigón armado, excepto en dos tramos de 98 m y 84 m de las galerías 18.1 y 18.2, respectivamente, donde la sección libre se ha reducido a 1,0 x 1,95 m. Esta reducción es debida a la necesidad de reforzar la sección dado que, con la mayor altura de la presa actual, el estado de cargas es muy superior al anteriormente existente. La finalidad de estas galerías es la de poder efectuar la inyección y drenaje de la zona central y conducir todas las filtraciones de la presa hasta el pozo de agotamiento P.5 ubicado al final de la galería 18.2. Este pozo comunica con la galería de acceso al desagüe intermedio por la margen izquierda, disponiendo de un ascensor con capacidad para 900 Kg y escalera.

El acceso puede efectuarse por cualquiera de las dos márgenes a través de las distintas galerías que salen al exterior.

La galería perimetral a la cota 29 enlaza con las galerías existentes en los bloques de hormigón, a la cota 34,6 en la margen izquierda, y a la cota 57 en la margen derecha.



Las galerías de la margen derecha

Al igual que para la margen izquierda, las galerías de margen derecha se desarrollan en varios niveles, siendo sus cotas principales las 57, 84, 108 y 140. La galería G.7, a cota 57, comunica con los otros niveles a través del pozo P1, provisto de ascensor con cuatro paradas operativas. El motivo del considerable desarrollo de algunas de estas galerías es, al igual que en la margen izquierda, ampliar la pantalla de impermeabilización, introduciéndose de manera notable en el estribo derecho, sirviendo además como puntos de referencia e investigación para las fallas de dicha margen, y muy especialmente la de Sumacàrcer.

Interconectando los distintos niveles de galerías se distribuyen varios pozos, dos de ellos, el A-3 y el A-4 (este último provisto de ascensor), discurren por ambos estribos del aliviadero. El pozo P-3, que dispone de un ascensor con capacidad para 900 Kg, da acceso desde coronación a la cámara de compuertas del desagüe intermedio y a diferentes galerías de la zona.

Gran parte de las galerías de nueva construcción han sido revestidas de hormigón, excepto algunos tramos excavados en roca tratados a base de guinita con fibras metálicas.

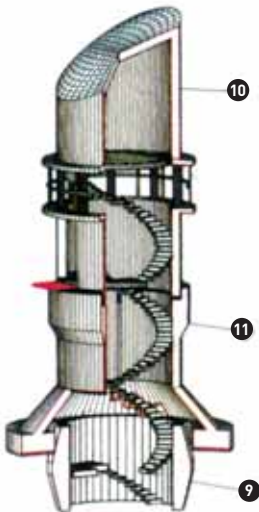
Dos torres ocultas y singulares

Dentro de los pozos y las galerías hay dos obras que merecen especial atención por su concepción innovadora debido a lo específico de su diseño y proceso de cálculo: se trata de las torres que dan acceso a la cámara de compuertas del desagüe intermedio y al pozo P-4.

El acceso a la cámara de compuertas del desagüe intermedio, desde la coronación de la presa, se solucionaba en el *Proyecto de Construcción* mediante una torre rígida, de gran inercia, inmersa en el cuerpo de presa, situada aguas arriba de coronación y cimentada en el aliviadero de la antigua presa. Esta torre incorporaba, además del acceso propiamente dicho, un gran conducto de aireación, de 11,5 m² para garantizar la aducción del caudal de aire necesario a las compuertas Taintor de regulación.

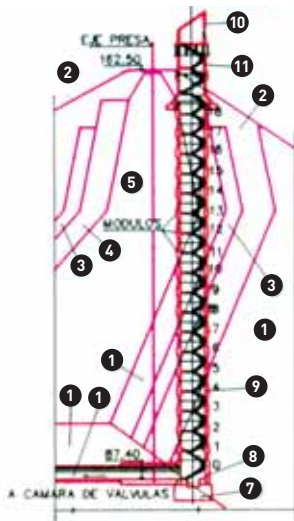
Los diversos estudios que se realizaron, ya iniciadas las obras del desagüe intermedio, sirvieron para acotar los enormes esfuerzos a que estaría sometida una torre de estas características, en función de los movimientos esperables en el material de presa circundante y las acciones actuantes: empujes, peso propio y rozamiento negativo. Sirvieron además para desechar las inciertas al-

SUPERESTRUCTURA SUPERIOR TORRE



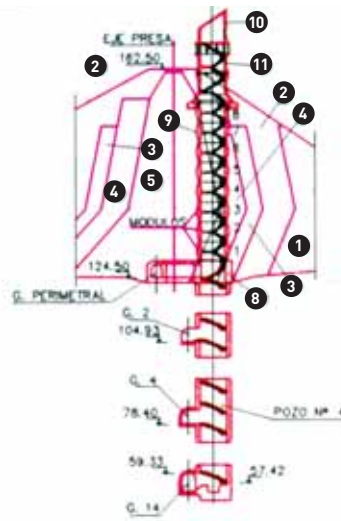
- 1 Espolones de escollera
- 2 Escollera de transición
- 3 Filtro grueso
- 4 Filtro fino

SECCIÓN POR EJE DE TORRE D.I.



- 5 Núcleo de arcilla
- 6 Hormigón compactado
- 7 Macizo de cimentación
- 8 Módulo especial de cimentación

SECCIÓN POR EJE DE POZO nº 4



- 9 Anillos prefabricados
- 10 Superestructura. Elemento superior
- 11 Superestructura. Elemento inferior
- 12 Galería a cámara

Torres de acceso al desagüe intermedio y pozo 4

Planta y sección

alternativas, hasta entonces enunciadas, destinadas a idear dispositivos que aislaran la torre de dichas deformaciones.

Llegados a este punto se decidió, en enero de 1992, una solución basada en las siguientes premisas:

- Desplazar la situación de la torre hacia aguas abajo, tangente a la coronación de la presa, para evitar los problemas derivados del contacto embalse-estructura, eliminando además la ejecución de la pasarela prevista hasta coronación.

- Disponer de un sistema de aireación alternativo, que permitiera dotar a la torre de una sección mínima capaz de albergar el acceso (escalera y ascensor).

El diseño preliminar, que serviría como base de partida al proyecto definitivo, se aprobó en los primeros días de 1993. La filosofía se basaba en eliminar la incompatibilidad en las deformaciones de una estructura rígida, inmersa en un cuerpo con la deformabilidad del cuerpo de presa. La solución a esta incompatibilidad dio como resultado una estructura flexible, constituida por módulos o anillos independientes de hormigón armado, separados verticalmente. Se trataba de que cada anillo pudiera ser sustentado por el material envolvente, limitándose la torre a acompañar el movimiento del cuerpo de presa sin constituir impedimento

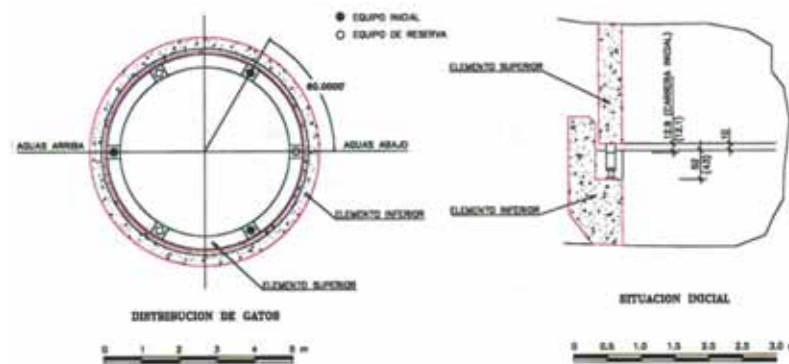
alguno al mismo. La distribución interior, con un diámetro de 4,50 m, permitía holgadamente dar cabida a una escalera helicoidal y un ascensor.

Este mismo diseño, una vez desarrollado en proyecto y materializado inicialmente en obra con éxito, se utilizó con idéntica posición relativa en la sección transversal de la presa, para configurar otro acceso fundamental desde coronación a las galerías por la margen izquierda. Mediante este acceso se prolongaba el pozo P4, excavado verticalmente en la roca de cimentación y revestido posteriormente de hormigón, mediante una torre flexible de menor altura que la anterior, inmersa ya en el relleno de presa y constituida por un inferior número de anillos de hormigón.

Los módulos se dimensionaron con 3,57 m de altura, sección circular de 2,25 m de radio interior y contorno poligonal de 20 lados por el exterior, con espesor variable entre 37,5 y 75 cm. Cada módulo incorporaba 21 peldaños de escalera, interrumpidos alternativamente por un descansillo de 70 cm de anchura o bien por otro de 105 cm en las paradas de ascensor.

La escalera se ejecutó solidariamente al anillo, de forma que la zanca, de trazado helicoidal, estaba empotrada al fuste del anillo, incorporando además los peldaños de hormigón.

Distribución de gatos y situación inicial



La estructura de la torre se materializa mediante la ejecución, sobre un macizo de cimentación, de un primer módulo especial de sección octogonal, a construir in situ, que incorpora la entrada a la galería de acceso a la cámara de compuertas del desagüe intermedio, y a la galería G.2 del núcleo en el caso del pozo P.4. El fuste de las torres lo forman 18 módulos prefabricados en el primer caso y 8 en el segundo. El diseño se completa con una estructura superior (superestructura), que descansa sobre el cuerpo de presa, independiente del anillo inferior, que alberga la entrada y la cámara de mecanismos del ascensor.

La superestructura está formada por dos elementos. Esta división se hizo para permitir la posibilidad de corregir los giros que pudieran apreciarse en el elemento superior, que es el que emerge del cuerpo de presa, en el caso de producirse asentamientos diferenciales en la cimentación del elemento inferior.

El elemento inferior estaba constituido por una zapata anular de 1,60 m de anchura por 0,80 m de canto, transición troncocónica y fuste cilíndrico de 4,50 m de diámetro interior. En su parte superior se dispusieron 6 cajetines para albergar dos ternas de gatos hidráulicos de 100 Tn de capacidad y 25 cm de recorrido, separados 120°. La holgura inicial de la junta entre elementos se adoptó de 10 cm.

El elemento superior comprendía el resto de la estructura hasta coronación, y estaba constituido por un fuste cilíndrico que incorporaba la puerta de acceso a coronación, mirador y cabina de mecanismos del ascensor, rematada por un plano inclinado.

La construcción de las torres

La torre de acceso a la cámara de compuertas del desagüe intermedio y la torre de acceso a la red de galerías de la margen izquierda (P-4 son similares, aunque de diferente altura: la primera arranca a la cota 86,40 y la segunda a la cota 124,5 terminando ambas en la coronación de presa.

Como se ha indicado, el diseño de estas torres se concibió según una estructura flexible, formada por módulos independientes de hormigón armado y sumergida en los rellenos de presa. A lo largo de las distintas fases del proyecto, hubo que atender todo un amplio abanico de aspectos y de talles constructivos que hicieran viable la ejecución de la torre simultáneamente al relleno de presa, sin entorpecer el ritmo previsto en las obras y previendo las contingencias que pudieran surgir a lo largo de las distintas etapas constructivas: medios de transporte e izado de los módulos, secuencia de colocación, altura del relleno circundante, mecanismos auxiliares y provisionales para la sustentación de cada elemento, etc.

Téngase en cuenta que la fase constructiva era crítica en cuanto a los movimientos relativos entre módulos y transmisión de cargas entre ellos.

Cada módulo o anillo se prefabricaba en una planta, habilitada al efecto, situada frente a la embocadura del aliviadero de la presa. Una vez desencofrado, el módulo se transportaba mediante góndola autocargable a la parte superior del relleno de presa, desde donde se izaba y posicionaba con una grúa de 300 T, superponiéndose al módulo inferior, en el que previamente se alojaban unos apoyos provisionales metálicos, y posteriormente los gatos hidráulicos. La operación de transporte y montaje se realizaba en 6 horas, con distancias de unos 500 m.

Los anillos se montaban unos sobre otros, y el conjunto de operaciones se repetía hasta completar el montaje de todos los módulos. La parte superior de las torres se construyó independiente de los módulos que conforman el fuste, apoyándose directamente sobre la escollera de la presa y dividida en dos tramos. La parte inferior queda embebida en la escollera y sobre ella se apoya, mediante seis gatos, el resto de la estructura.

La finalidad de esta disposición es la de permitir compensar, con los gatos, los posibles desplazamientos de la escollera y en consecuencia del tramo inferior.



Prefabricación, transporte y colocación de módulos



El desvío del Júcar: planificar y prevenir

Planificar la construcción de la presa de Tous, desviando primero el río para devolverlo después a su curso, no fue un trabajo sencillo. Porque era preciso trabajar sin dejar de atender las necesidades de agua de la gran ciudad cercana y de los cultivos de regadío. Y, sobre todo, porque hubo que acompañar el ritmo de las obras a la lógica natural del Júcar y lograr que cada otoño, al llegar la temporada con riesgo de avenidas, las obras estuvieran en un punto clave, capaz de soportar una posible crecida.

Con posterioridad al año 1982, el Servicio de Construcción de Presas (de la Dirección General de Obras Hidráulicas) consideró la conveniencia de ejecutar un túnel de desvío de forma que, sirviendo para su uso en la construcción de la presa, permitiera desviar el río Júcar a través de él, en lugar de como lo venía haciendo por la parte central de la presa destruida. Con ello se pretendía evitar que se siguiera degradando su cimentación, que sería más intensa de producirse otra avenida. El túnel fue construido en su mayor parte, excepto en la zona de conexión con el túnel preexistente del desagüe de fondo que no hubo posibilidad de realizar hasta la ejecución de las obras de la pre-

sa, dado que no pudo resolverse, en su momento, el grave problema que suponía la interrupción del suministro de aguas a Valencia.

El sistema de desvío implantado y definido en el *Proyecto* tenía como objetivo primordial permitir desaguar, en período de riadas, una avenida similar a la de octubre de 1982 sin que las obras en construcción pudieran ser afectadas por dichas avenidas. Para el cumplimiento de este objetivo se estimó, además, la posibilidad de utilizar los embalses de Escalona y de Cortes II situados aguas arriba.

Un desvío en varias fases

El programa de construcción de las obras se dividió en cuatro fases, cada una de ellas contemplando una serie de objetivos o hitos que se debían cumplir, indefectiblemente, al inicio de la temporada de riesgo de máximas avenidas (período que va del 1 de septiembre al 1 de diciembre), permitiendo de esa forma la evacuación de importantes caudales sin mayores consecuencias para las obras en construcción y, sobre todo, para la amplia zona de núcleos urbanos y terrenos de cultivo ubicados aguas abajo de la presa.



Fase 0 (hasta octubre de 1991): Correspondió al período de ejecución de las obras entre la terminación del túnel de desvío y su puesta en funcionamiento; la restitución y recrecido de la ataguía existente y la rehabilitación de la contraataguía; el inicio de las excavaciones, demoliciones y rellenos en el cuerpo de presa, así como el inicio de los trabajos en el desagüe intermedio, convenientemente adaptado para que durante esta fase y especialmente en la siguiente pudiera funcionar como aliviadero.

Los riesgos que se asumían, caso de haberse producido una avenida, solo podrían haber afectado a alguna de las obras en curso, no así a terceros. Esta fase quedó completa en octubre de 1991.

Fase 1 (hasta agosto de 1992): Con la ataguía y contraataguía útiles y el túnel de desvío en funcionamiento se alcanzaban los objetivos, previstos el día 31 de agosto de 1992. Dichos objetivos eran: tener construido el desagüe intermedio en su primera fase; los rellenos en el cuerpo de presa a la cota 100 e iniciada la excavación del aliviadero. En estas condiciones la presa se encontraba en situación de poder evacuar hasta 5.500 m³/s por sus distintos órganos.

Fase 2 (hasta agosto de 1993): Los objetivos previstos y conseguidos en esta fase pasaban por terminar la construcción del desagüe intermedio haciéndolo operativo, llegar con los rellenos de la presa a la cota 130 y tener el aliviadero finalizado, excepto la sección de control, que se dejó a la cota 120. En este estado se hubieran podido seguir evacuando hasta 5.500 m³/s.

Fase 3 (hasta mayo de 1994): Se corresponde con la terminación del aliviadero (excepto el puente), el desagüe intermedio en perfecto funcionamiento y los rellenos de la presa a cota 145.

Fase 4 (hasta noviembre de 1994): Una vez coronada la presa, se procedió al cierre técnico del túnel de desvío el 3 de noviembre de 1994 y a embalsar.

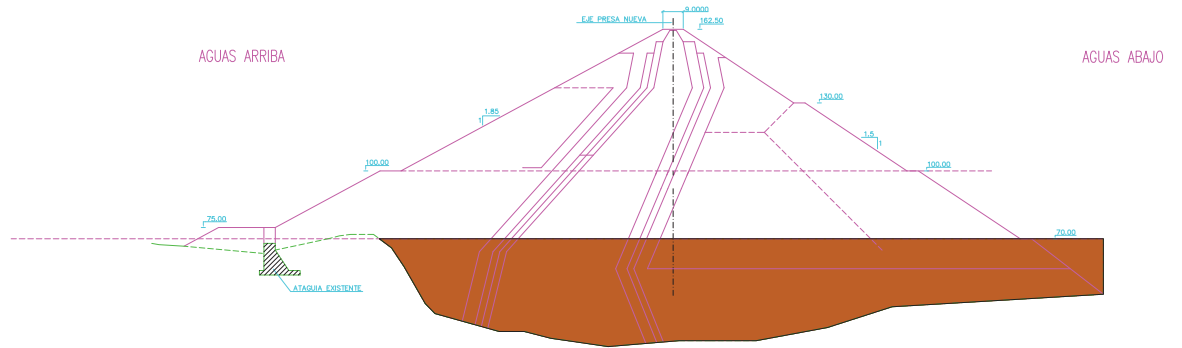
Cierre del desvío e inicio de la actividad

El cierre del desvío del río se puede resumir en dos etapas, la primera de ellas corresponde al cierre de la embocadura del túnel de desvío y la segunda a la ejecución de los tapones definitivos, uno de ellos en el entronque con el túnel del desagüe de fondo.

Visión panorámica de la presa desde el embalse

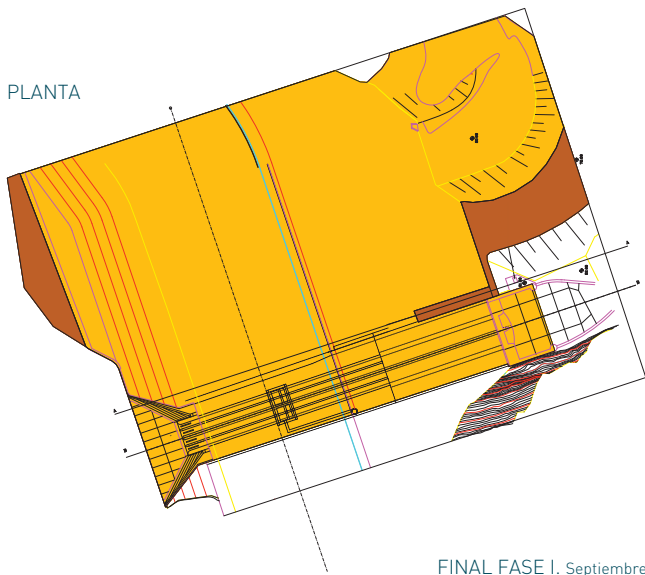
Situación de las obras al final de las fases 0 y I

FINAL FASE 0. Abril 1992

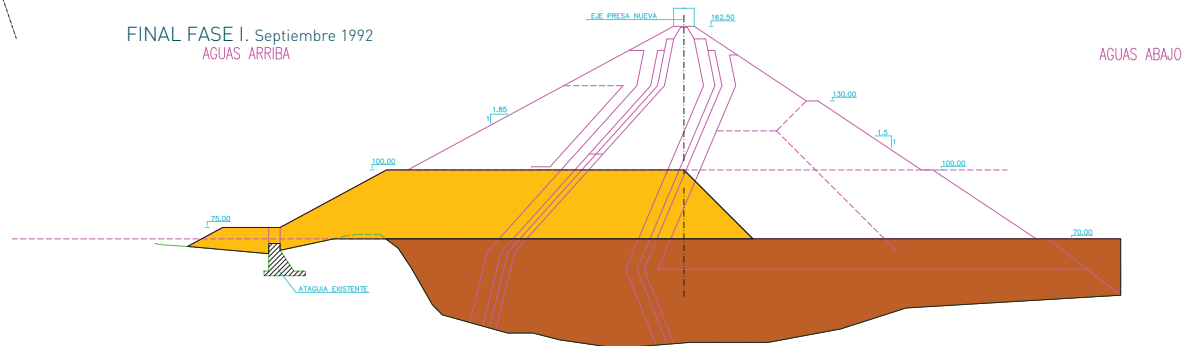


1. Recrecido atagüa a cota 75.00
2. Rellenos de presa a la cota 70.00
3. En construcción 1ª Fase desagüe intermedio
4. Túnel de desvío en funcionamiento

PLANTA



FINAL FASE I. Septiembre 1992



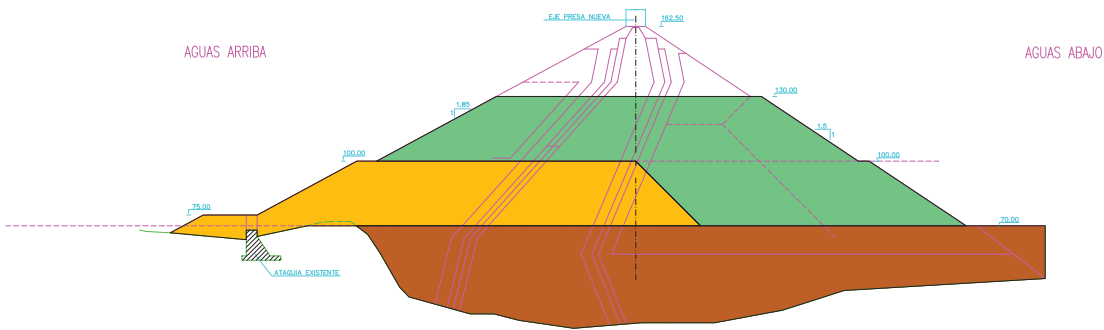
1. Rellenos de presa a la cota 100.00
2. Desagüe intermedio 1ª Fase en funcionamiento
3. Capacidad de desagüe 5.000 m³/s

SECCIÓN DESAGÜE INTERMEDIO

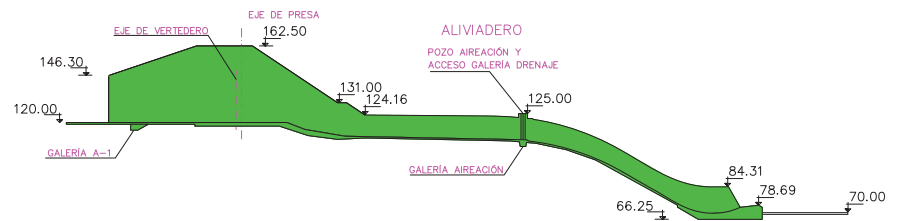


FINAL FASE II. Sept. 1993

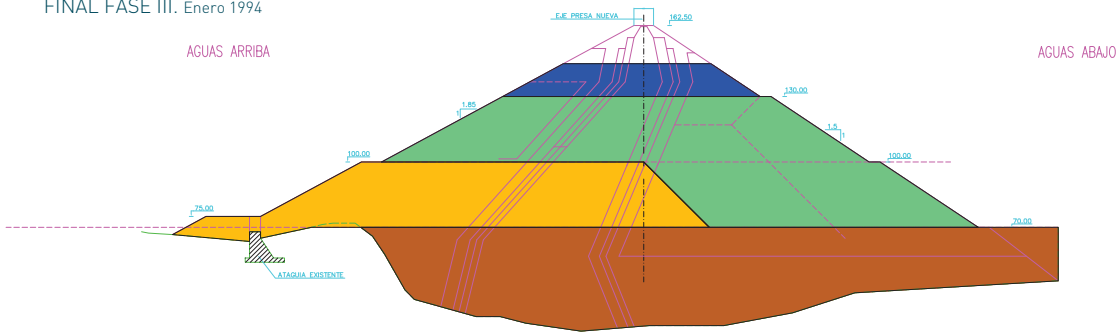
Situación de las obras al final de las fases II, III y IV



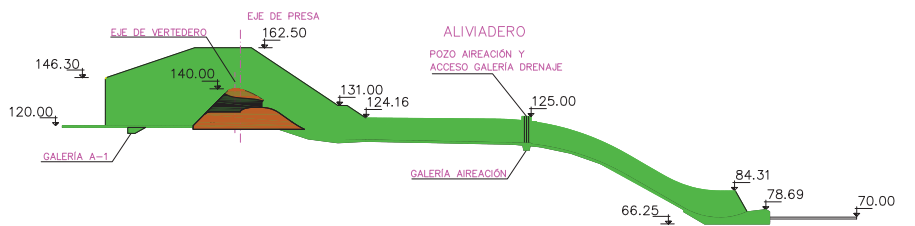
1. Rellenos de presa a la cota 130.00
2. Desagüe intermedio terminado
3. Aliviadero 1ª Fase (cota 120.00) en funcionamiento
4. Capacidad máxima de desagüe 5.300 m³/s
5. En condiciones de cerrarse el tunel de desvío



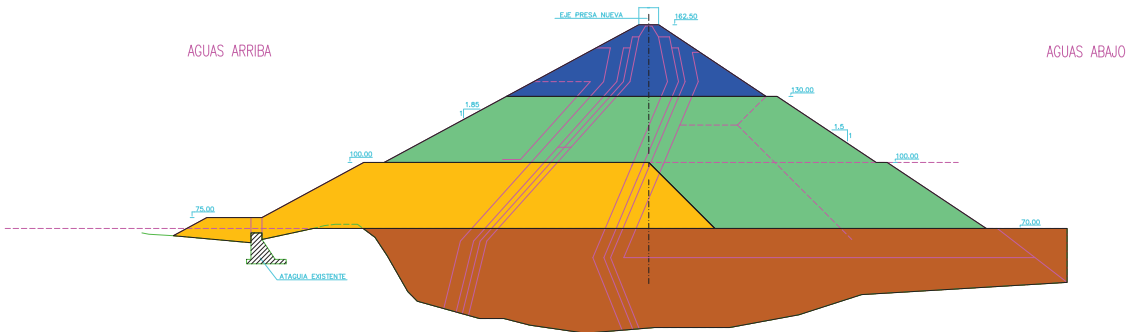
FINAL FASE III. Enero 1994



1. Rellenos de presa a la cota 145.00
2. Desagüe intermedio terminado y en funcionamiento
3. Aliviadero terminado y en funcionamiento
4. Capacidad máxima de desagüe 5.300 m³/s



FINAL FASE IV. Mayo 1994



1. Rellenos de presa a la cota 162.5 (coronación)
2. Todos los órganos de desagüe en funcionamiento

Distintas fases de construcción





El cierre fue efectuado, en su primera etapa, el día 3 de noviembre de 1994, iniciándose con ello el llenado del embalse y por tanto, la puesta en carga de la presa; no obstante y dado el sistema utilizado para este cierre, constituido por una ataguía metálica con válvulas, se pudo seguir efectuando el suministro de caudales hacia el canal Júcar-Turia y al río Júcar hasta enero de 1995 y, simultáneamente, proceder al embalse.

El túnel de desvío y el de desagüe de fondo son independientes hasta un punto intermedio, (ver Fig. 9.3) donde se interconectan y pasan a formar un solo túnel hasta la salida al exterior por debajo de la presa.

Durante su funcionamiento como túnel de desvío la zona del desagüe de fondo, túnel y cámara de válvulas, quedó aislada mediante un tapón ubicado entre la embocadura y la cámara y otro realizado en el conducto del desagüe de fondo, aguas abajo de la misma, próximo a la conexión con el túnel de desvío.

A la hora de diseñar y programar el cierre definitivo del desvío surgieron varios condicionantes que implicaban la adopción de una solución efectiva para conjugar todas las variables que influían en su ejecución.

Uno de los condicionantes a reseñar era el plazo de realización de diversas obras que aún estaban pendientes en la zona como, la conexión de la cámara de compuertas del desagüe de fondo con la galería G-14, la ejecución de los tapones definitivos del túnel de desvío y la demolición del existente aguas abajo de la cámara. El conjunto de estas obras suponía un plazo total de unos cuatro meses, sin embargo los condicionantes más importantes a considerar para adoptar la solución final eran:

- Había que garantizar el suministro de un caudal continuo para abastecer a Valencia y su área metropolitana.
- La realización del cierre, en las fechas programadas, debería posibilitar embalsar caudales sobrantes dado el periodo de sequía por el que se estaba pasando.
- Para suministrar agua a través del desagüe de fondo, para abastecimiento y riego, habría que esperar no menos de 4 meses para que fuera operativo, debido a las obras que era necesario realizar tal y como se ha expuesto anteriormente.
- Para poder dar caudales a través del sistema de la toma y suministrar agua para abastecimiento y riego a través del canal Júcar-Turia habría que

superar la cota 78 de embalse, lo que supondría tener que almacenar más de 26 Hm³.

- Para poder dar los riegos del río Júcar se necesitaría llegar a superar la cota 80 de nivel de embalse, cota en la que se sitúa el umbral de toma del desagüe intermedio, teniendo que almacenar en torno a los 33 Hm³ de agua.

- El llenado del embalse debería hacerse con la suficiente y necesaria lentitud que exige la primera puesta en carga.

- Debido a la pertinaz sequía, los caudales fluyentes eran más bien exigüos y los volúmenes embalsados aguas arriba estaban bajo mínimos. Había que ahorrar agua y almacenarla para el futuro.

La solución adoptada fue proyectar una ataguía metálica que iría dispuesta en la embocadura del túnel de desvío, con la misión de compatibilizar y simultanear las operaciones de dar los caudales imprescindibles hacia aguas abajo a la vez que ir permitiendo el llenado del embalse.

Diseñada ya la solución, se estableció un estudio e intenso programa de trabajos condicionado por los breves plazos en que el río podía permanecer cortado.

En base a esto se hizo necesario construir, aguas arriba de donde se ubicaba la ataguía metálica, otra de hormigón con inclusión de 2 tubos de 700 y 800 mm de diámetro y con válvulas mariposa de regulación para poder conectarlos al primer paquete de ataguía metálica, que incorporaba tres válvulas de diámetro 800 mm, pudiendo así suministrar agua inmediatamente y continuar los trabajos de montaje.

Si el 3 de noviembre de 1994 se había iniciado el llenado del embalse (cierre técnico de la presa), el 26 de enero de 1995 se superó la cota 78, necesaria para el inicio del funcionamiento del estanque de regulación (a través de la torre y túnel de toma) y en consecuencia para el suministro de agua al canal Júcar-Turia. Hasta ese momento, las válvulas-compuerta instaladas en la ataguía de cierre del túnel de desvío, permitieron mantener dicho suministro y el del río Júcar aguas abajo.

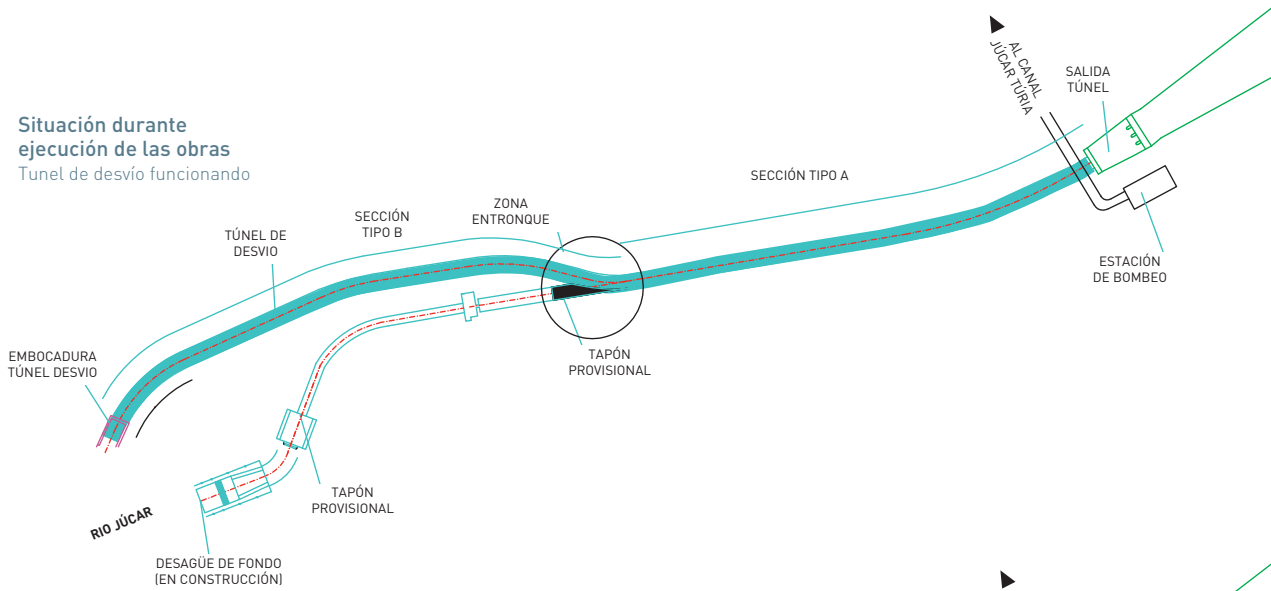
Al superar el embalse la cota 80 se pudo dar el agua de riego al río Júcar a través del desagüe intermedio. A partir de ese momento (el 31 de enero de 1995) se cerraron las válvulas, con lo cual se dejó en seco el túnel de desvío y se pudo empezar a realizar los tapones. Estas válvulas quedaron ya sin operatividad y sin posibilidad de recuperación. Paralelamente se completaron los trabajos en el túnel y cámara de válvulas del desagüe de fondo,

Esquema de funcionamiento del desvío del río

Plantas y secciones

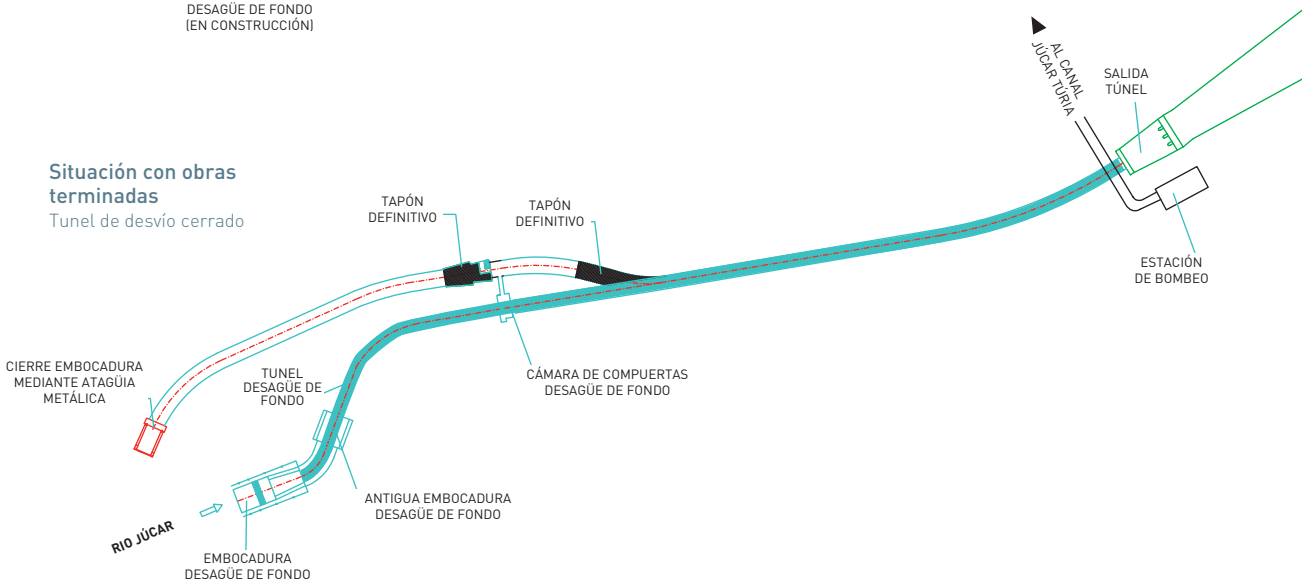
Situación durante ejecución de las obras

Túnel de desvío funcionando



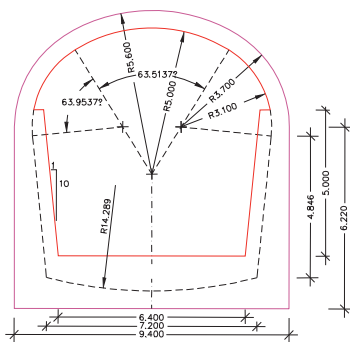
Situación con obras terminadas

Túnel de desvío cerrado

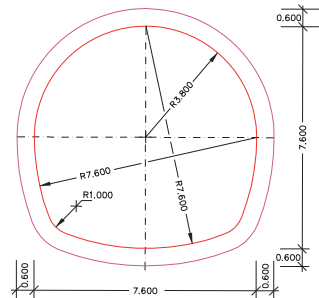


Secciones de túneles

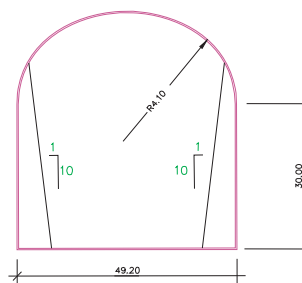
Sección tipo A



Sección tipo B



Sección tipo zona entronque



permitiendo el cierre de las compuertas y la demolición del tapón aguas abajo de la cámara. El 11 de mayo de 1995 quedó operativo el desagüe de fondo.

El día 25 de julio de 1995, debido a la bajada de nivel al utilizar el agua embalsada para riego y abastecimiento, este no alcanzaba la cota necesaria (\rightarrow 80) para seguir suministrando agua hacia los riegos de la Ribera por el desagüe intermedio, por lo que se procedió a su cierre y a la puesta en funcionamiento del desagüe de fondo para efectuar dicha operación.

Tal y como ocurrió con el desagüe intermedio, al seguir descendiendo el nivel por debajo de la cota 78, hubo que activar la impulsión para suministrar agua al trasvase, al quedar inoperante la estructura de la toma (11 de agosto de 1995).

En fechas posteriores, y sobre todo, finalizando el año 1995, se produjo una subida paulatina del nivel de embalse, lo que permitió a partir del día 22 de diciembre de 1995 restablecer el suministro y abastecimiento de agua a través de la toma.



Cierre del túnel de desvío



Asegurando la estanqueidad

Trabajar sobre los restos de la antigua presa ha supuesto la gran ventaja de limitar el impacto sobre la naturaleza, aunque para ello se hayan tenido que abordar trabajos complementarios. Unos han servido para adecuar los restos de obra preexistentes a las exigencias del nuevo proyecto y otros muchos para asegurar la estanqueidad de un terreno surcado por varias fallas.

Tratamientos de la cerrada

Uno de los motivos por lo que se construyó la Presa de Tous sobre la antigua fue el aprovechamiento de la estanqueidad conseguida en la cerrada por la pantalla de inyecciones ya realizada. Con la construcción de la nueva presa, se realizó una serie de labores para ampliar y mejorar la estanqueidad ya que la nueva zona mojada era más extensa y, en las zonas tratadas, la carga hidráulica sería mayor.

La ampliación consistió no solo en una mayor profundidad de la nueva pantalla, sino en su prolongación en los estribos, sobrepasando ampliamente las dos fallas principales: la de Tous y la de Sumacàrcer.

También, y debido a la ampliación del núcleo, se realizó una inyección sistemática de consolidación del terreno en la nueva zona de contacto arcilla-roca, previa ejecución de una losa de hormigón o gunita que recubría la roca sobre la que se apoyaba.

Las mejoras de la impermeabilización del cimientto se complementaron con la ejecución de un sistema de drenaje en aquellas zonas que se creyó conveniente.

Una pantalla de impermeabilización

En la margen izquierda, durante las excavaciones que se realizaron para el aliviadero y el cuenco de amortiguación del estanque de regulación, junto a la falla del túnel de desvío, se pusieron de manifiesto unas importantes surgencias de agua (~400 l/s). Posteriormente, durante la ejecución de la cortina desde la galería de cota 55, dichas surgencias se confirmaron como una importante filtración a través de la margen izquierda (se inyectaron taladros con más de 300 Tn sin lograr cerrar). Una vez localizado el posible camino de la filtración y su área de influencia, se procedió a su cierre, actuando desde distintos puntos. En esta operación se inyectaron más de 2.500 Tn de materia seca.

También se ejecutó el tratamiento desde la galería de la cota 55, en la que se realizó una pantalla tri-lineal con taladros primarios a 4 m, secundarios a 2 m y terciarios a 1 m.

Durante los años 2009 y 2012 se han realizado varias actuaciones de importancia en la margen izquierda de la presa. Estas actuaciones comenzaron con la realización de unos sondeos de investigación para tratar de identificar unas vías preferentes de flujo en la zona de filtraciones del canal Júcar-Túria. Se comprobó que las vías de agua que atravesaron los sondeos 1 y 2 estaban conectadas con el flujo de agua que aparecía en las filtraciones del túnel de la Escala.

En la margen derecha, durante el llenado de la presa antigua ya se puso de manifiesto la presencia de una importante filtración (4,5m³/s), que tenía su origen en una sima localizada aguas arriba junto a la falla de Sumacàrcer y que a través de un conducto kárstico filtraba el agua hasta las fuentes existentes en el barranco del Murterall, 1,6 Km aguas abajo. Una vez detectada se procedió a realizar un tapón de hormigón en la boca de la sima y colocar un tapiz de arcilla sellando la misma. Por otro lado se intensificó la cortina principal en su intersección con el conducto kárstico, inyectándose en varias campañas más de 5.000 Tn de materia seca, sin haber finalizado cuando ocurrió la riada de 1982.

Ya en la construcción de la actual presa y durante la ejecución de la pantalla principal, se obtuvieron, en esta zona, elevadas admisiones de lechada (más de 300 Tn por taladro), lo que motivó la inspección del antiguo tapón existente, comprobando que, posiblemente a raíz de la riada de 1982, el tapiz había desaparecido y el tapón de hormigón se había deteriorado reactivándose el conducto kárstico.

Se decidió tratar nuevamente la sima rellenando con hormigón su entrada, colocando en dos fases más de 1.000 m³, procediendo a continuación a coser el tapón al terreno con inyecciones. Posteriormente se realizó un nuevo tapiz de arcilla con el fin de sellar exteriormente el tapón de hormigón, protegiendo la arcilla con un filtro y escollera. Por último en esta zona se realizó, alrededor de la boca, una corona de taladros de inyección que garantizó el perfecto sellado de la entrada del conducto.

Mientras tanto se habían efectuado una serie de perfiles de investigación a lo largo de la traza del conducto para determinar su posición geométrica.

El tratamiento de cierre se ejecutó mediante la

ejecución de 3 cortinas de inyección (con 2 metros de separación), de las cuales la de aguas abajo se correspondía con la cortina principal. En esta se realizaron taladros de gran diámetro para la introducción de morteros espesos que llenaban grandes cavidades.

Una vez realizado el cierre se comprobó, mediante trazadores, la adecuada impermeabilidad de la zona, garantizando la estanqueidad del vaso en esa margen. Los estudios realizados indican que las actuales surgencias existentes a la salida de la filtración provienen de la ladera y no están conectadas con el embalse.

Desde el 2009 hasta 2012 se ha seguido reforzando la pantalla trilineal con el objetivo de que se garantice el perfecto comportamiento, cuando el embalse se sitúe en cotas superiores. Para ello se han realizado taladros de inyección tanto en la plataforma del aliviadero como en el camino de acceso al mismo. En total se realizaron aproximadamente 60 taladros cuyas profundidades iban desde los 60 hasta los 151 metros llegando a haber admisiones por taladro de hasta 14 Tn en el camino de acceso y hasta 51 Tn en la plataforma del aliviadero.

Además de estos trabajos, también se ha realizado la inyección de los bloques antiguos desde el B-37 hasta el B-43, desde la galería 5 hasta la 1 y la 7 respectivamente.

Cortina de drenaje

Se divide en cuatro tramos localizados en las principales zonas permeables. Uno es el estribo izquierdo en la zona del collado, cruzando la falla de Tous, de 260 m de longitud; otro en la zona del cauce, desde la galería G-18, detrás de la cortina F, atravesando las dos fallas del cauce con una longitud de 90 m. Un tercer tramo se localiza en el aliviadero desde la galería A-2 detrás de la cortina E. Y el último en la margen derecha del aliviadero desde la galería G-5, con una longitud de 180 m cruzando la falla de Sumacàrcer.

Durante los años 2009 y 2012, en la margen izquierda se han reperforado todos los drenes en los bloques antiguos de la presa y se han realizado drenes nuevos desde las galerías 2, 4, 8 y 16. En total se han ejecutado aproximadamente unos 1.100 m de perforaciones para drenajes en esta zona. En la margen derecha también se han repuesto los drenes en todos los bloques antiguos y se han realizado drenes nuevos en las galerías 1, 5 y 7 habiéndose realizado en esta zona aproximadamente unos 2.100 m de perforación.

Todos los drenes tienen instalados los conos de recogidas y las tuberías de encauzamiento necesarias para verter las filtraciones a la canaleta correspondientes.

Consolidación e impermeabilización del contacto núcleo-roca

El apoyo del núcleo sobre la roca de cimentación se hizo mediante una losa de hormigón de unos 20 cm de espesor o, según los casos, sobre una losa de gunita cuando la inclinación de la superficie de apoyo así lo exigía.

Para consolidar la roca inmediatamente por debajo del hormigón se ejecutaron taladros de 8 m de profundidad con una malla al tresbolillo, variable 3x3 o 4x4 m en función de la carsticidad de la zona.

Las inyecciones se realizaron con dosificaciones similares a las utilizadas en la pantalla, limitándose las presiones máximas entre 1 y 3 Kg/cm² en función del volumen de admisión.

Otras obras complementarias

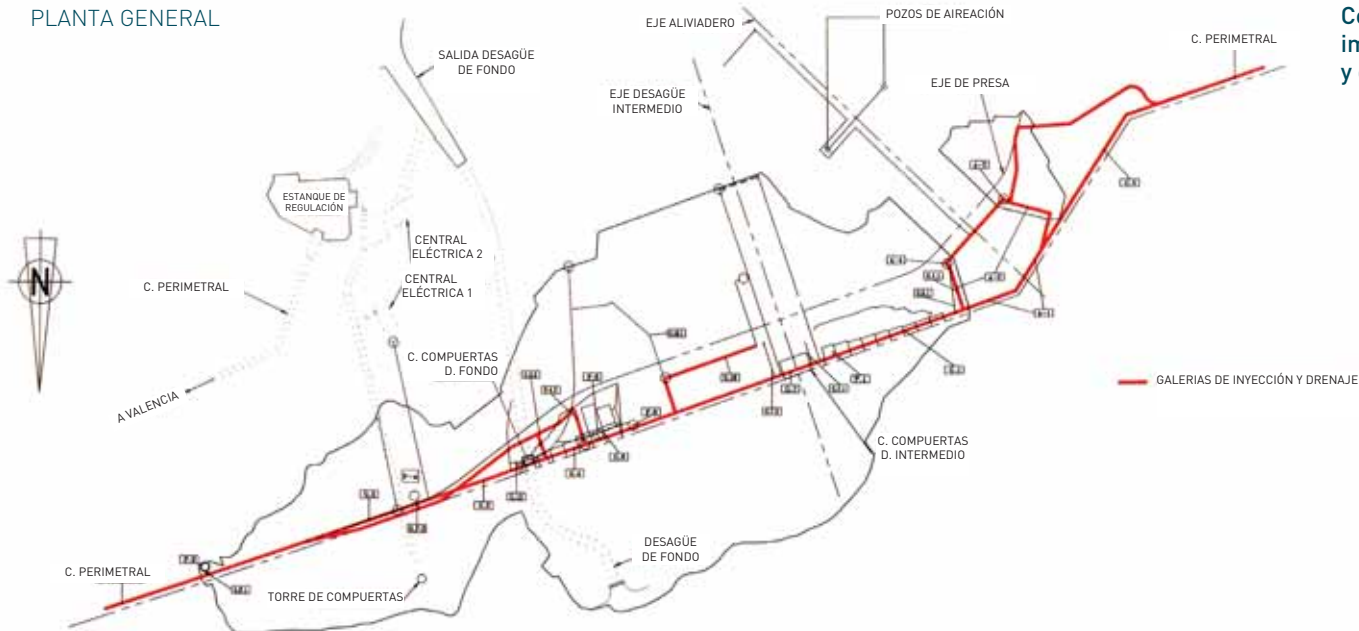
En la **cámara de mecanismos del desagüe de fondo**. Con el objetivo de corregir las filtraciones existentes en la cámara del desagüe de fondo, de manera que estos no afecten a los mecanismos dispuestos en la misma, se han realizado 4 pantallas de inyección desde la galería de reconocimiento ubicada por encima de la misma, a la cota 80: una aguas arriba de la cámara, otra encima de la misma y dos en forma de abanico, a ambos márgenes.

En la galería 18 de la cota 30, existía una **batería de drenes de subpresión**, de los cuales muchos de ellos estaban colmatados. Se ha procedido a recuperar estos drenes colmatados y a la ejecución de 9 nuevos.

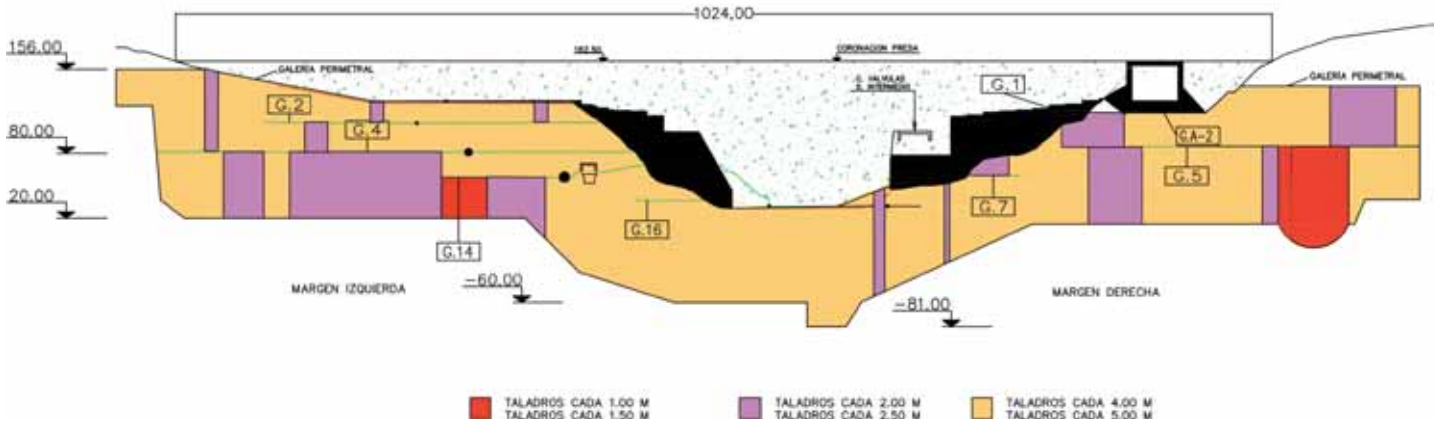
Inyección de las juntas en bloques antiguos de la presa. La juntas de los bloques antiguos de la presa funcionaban como vías preferentes de agua habiéndose observado filtraciones importantes al aumentar el nivel del embalse, por lo que se ha procedido a la inyección de las mismas mediante inyección cemento-bentonita al 12%, tanto en la falla de Tous como en la de Sumacàrcer.

Cortina de impermeabilización y drenaje

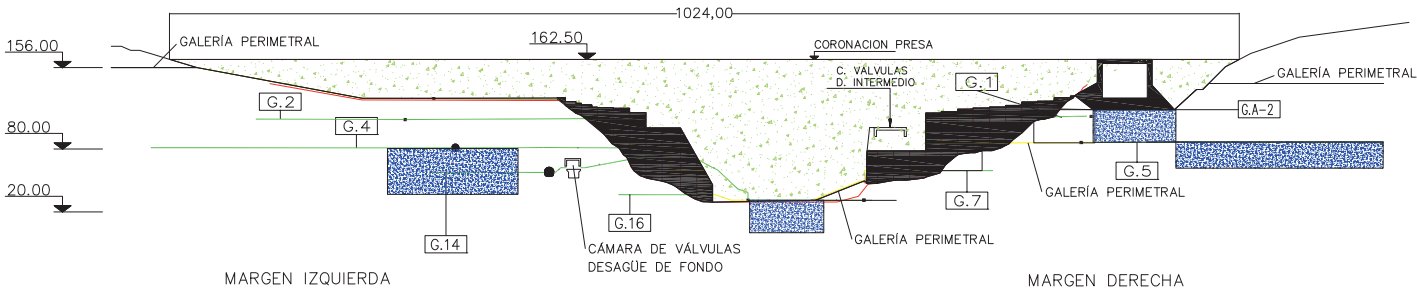
PLANTA GENERAL



ALZADO - PANTALLA DE IMPERMEABILIZACIÓN



PANTALLA DE DRENAJE







04

Más allá de la construcción

Energía, datos y un paisaje nuevo para mirar al futuro

Hacer realidad una gran obra como la presa de Tous no ha significado tan solo estudiar, proyectar y levantar un conjunto de grandes construcciones civiles e hidromecánicas. Más allá de la obra, ha sido necesario atender otras necesidades esenciales para lograr una explotación de la presa a largo plazo con totales garantías. La primera de ellas, el suministro de energía eléctrica con un equipo capaz de ofrecer fiabilidad incluso en los supuestos más duros. La segunda, el registro de datos que permitan conocer el estado de toda la infraestructura. El último trabajo consistió en la restauración de un paisaje que ya nunca será el mismo, pero que se ha vuelto a integrar en su entorno natural.

04

Más allá de la construcción

Energía, datos y un paisaje nuevo para mirar al futuro y un espacio

Las instalaciones eléctricas

Seguridad, fiabilidad y eficiencia incluso en las condiciones más duras. Estas son las características que definen las instalaciones eléctricas de la presa de Tous. Fueron diseñadas para asegurar el suministro eléctrico en todo momento y garantizar así el funcionamiento de todos los mecanismos. Pero la obra eléctrica no es solo su resultado final: antes fue necesario dar servicio a la gran obra de construcción y trabajar en el desarrollo del equipamiento sin alterar el suministro en los alrededores.

Del mismo modo que había sucedido en la obra civil, en las instalaciones eléctricas para la presa de Tous fue imprescindible tener en cuenta los materiales existentes. El reto consistió en realizar nuevas infraestructuras, eliminar algunas de las precedentes y alterar la ubicación de otras consiguiendo que el servicio no se viera interrumpido en ningún momento. Repasemos el resultado final.

Las **líneas de alta tensión** instaladas son tres.

- La principal es una línea de 132 Kv de 4 kilómetros de longitud y de doble circuito creada para alimentar la nueva subestación de 132/6,3 Kv. En cuanto estuvo en marcha, esta nueva línea permitió eliminar la anterior, pues su presencia entorpecía los trabajos de construcción de la presa.

- Se montó una segunda línea de 132 Kv, en este caso de 2 kilómetros de longitud y de simple circuito. Durante las obras, su función era la de unir la subestación antigua con la nueva pero cuando la instalación entró en servicio, pasó a alimentar, a 6 Kv, la estación de bombeo.

- También fue necesario sustituir 2,9 kilómetros de una línea de 25 Kv que estaba destinada a la

construcción de la presa de Escalona, para evitar daños mientras se ejecutaban las obras en Tous.

El nuevo **parque de transformación** 132/6,3 Kv. Está formado por dos campos de entrada de líneas de doble circuito, tres campos de alimentación a transformadores y un equipo de medida situado en barras generales. Cuenta con varios transformadores adaptados cada uno a diferentes fines: Los tres más importantes son de 10.000 KVA (relación 132/6,3 KV); hay uno más, de 400 KVA (relación 6,3/25 Kv), destinado a alimentar a la presa de Escalona y dos de 5.500 KVA (relación 6,3/13,8 Kv) que dan servicio a las instalaciones de la presa de Tous. Queda aún un transformador de 200 KVA para servicios auxiliares.

Los equipos de distribución de potencia, medida y control de la subestación, están ubicados en dos edificios de control donde están instalados los cuadros de mando, control, protecciones y servicios auxiliares de todos los transformadores.

Para **alumbrado y fuerza**, actualmente se ubican en la presa cinco centros de transformación (relación 13,8 Kv/380V). Son los que suministran energía eléctrica a accesos, galerías, instalaciones y mecanismos de toda la presa. En cada centro se han instalado dos grupos electrógenos, de forma que uno de ellos funcione como reserva del otro.

En los distintos **desagües** (desagüe intermedio, desagüe de fondo, bombas de agotamiento en la presa y estanque de regulación) se han instalado cuadros de conmutación comunicados con dos centros de transformación diferentes.



En las **galerías** de presa se han instalado cuadros auxiliares para posibilitar la alimentación de equipos accesorios como los de inyección.

El alumbrado instalado es el siguiente: para las galerías se han utilizado luminarias estancas cuyas líneas de alimentación son telemandadas desde el centro de control de la presa. Para los viales interiores se cuenta con lámparas de vapor de sodio sobre columnas abatibles y para el exterior se ha instalado iluminación ornamental en todas las estructuras principales: con proyectores, pantallas estancas o cañones, según los diferentes espacios.

Un centro para controlarlo todo

Dado el elevado número de líneas eléctricas y puntos de consumo, el control de toda la instalación de suministro se realiza, de forma remota, desde el centro de control a través del ordenador central.

Además de hacer un seguimiento de los sistemas eléctricos, el centro de control es el punto que

permite hacer un seguimiento en tiempo real de toda la información esencial para la gestión de la presa. Cuenta, desde que se inauguraron las instalaciones, con paneles que permiten visualizar conjuntamente los caudales de salida de la presa y la posición de todas y cada una de las válvulas y compuertas de la presa.

Ahora, después de una reciente actualización, también es posible telemandar desde este punto las compuertas de regulación del desagüe intermedio, desagüe de fondo y estanque de regulación. Incluso se han programado las instrucciones necesarias para automatizar el funcionamiento de cada órgano de desagüe.

Otra de las mejoras recientes en el centro de control ha consistido en incorporar una red de fibra óptica que permite visualizar las imágenes que captan las cámaras de vigilancia, centralizando las alarmas de intrusismo y el control de accesos. También se comunican con el centro de control los detectores de incendio instalados en los puntos vitales de la presa

Subestación transformadora.
Equipos de distribución y potencia.

Estribos de hormigón de la antigua obra como presa de gravedad de hormigón

En constante vigilancia: la auscultación

Más de un millar de dispositivos se reparten por toda la presa y en puntos estratégicos de sus alrededores con un único objetivo: registrar la información relevante que señale el comportamiento de esta infraestructura tan compleja y dinámica. Sus datos fueron esenciales durante la construcción, pues permitieron contrastar si la realidad se ajustaba a los estudios. Y hoy sus mediciones siguen siendo vitales: nos indican las constantes vitales de la presa, su respuesta a la carga y su evolución a lo largo del tiempo.

Una de las singularidades de la presa de Tous es el hecho de que, aun estando construida con materiales sueltos, se ha realizado sobre los estribos de hormigón de la antigua obra que se inició como presa de gravedad. Ello ha implicado la realización de un control exhaustivo en su auscultación, considerando dos aspectos muy importantes:

- Por un lado los asentamientos diferenciales esperados en zonas de relleno sobre los estribos existentes y los esperados en zonas de relleno sobre la zona central del núcleo.
- Por otro lado los movimientos del núcleo en los contactos con las zonas laterales de los estribos, y en la zona lateral de los muros del aliviadero.

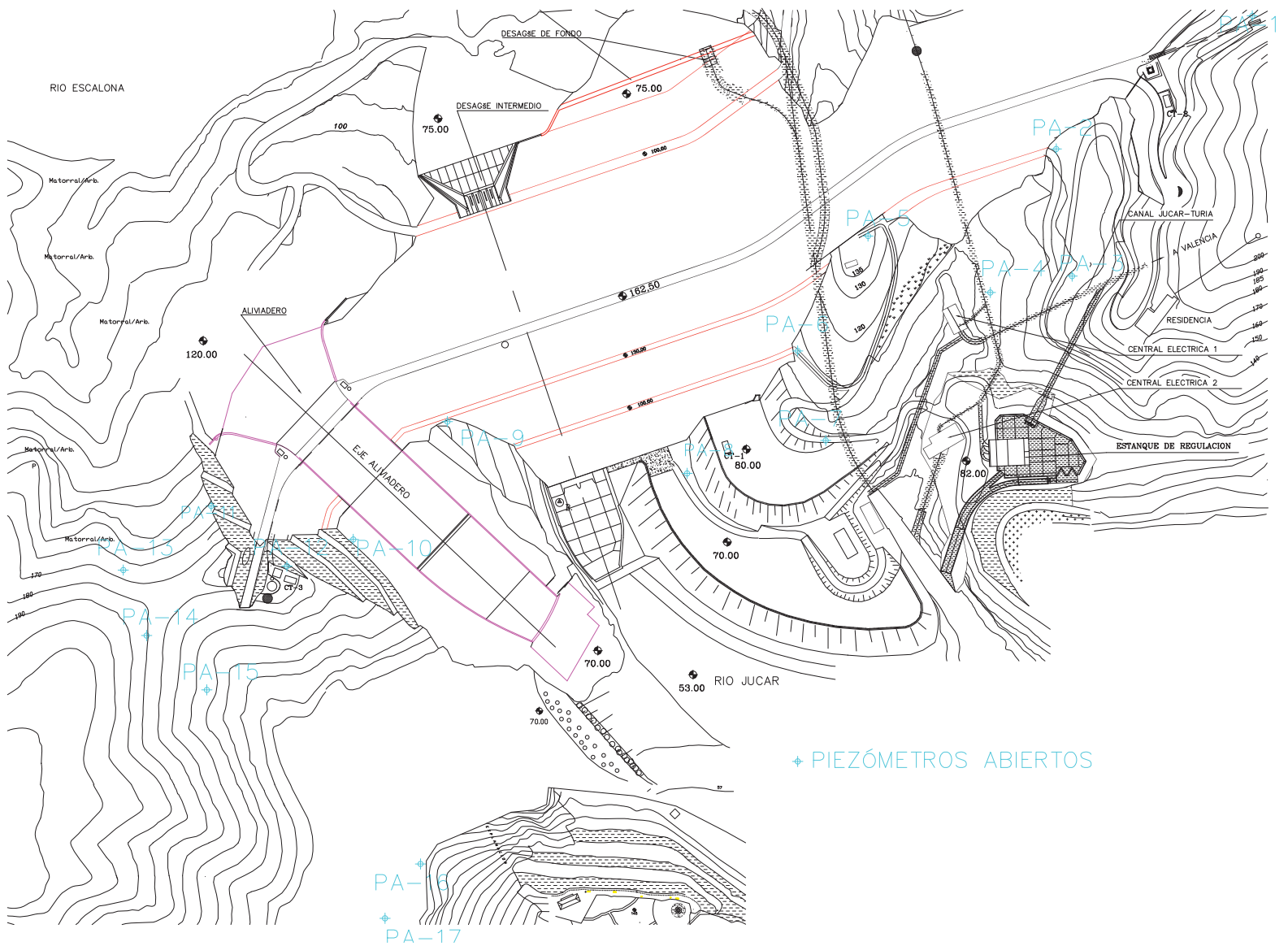
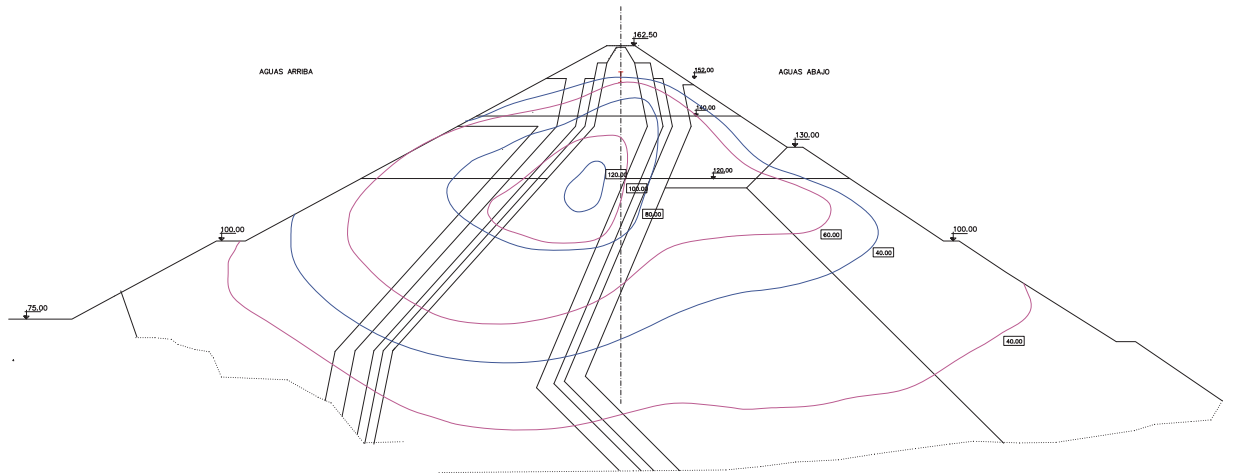
La auscultación de la presa fue un elemento esencial durante la construcción y se consideró un complemento perfecto para el programa de control de calidad de las obras, pues permitió conocer datos reales sobre los módulos de deformación, presiones intersticiales o deformación de los espaldones de escollera. Asimismo permitió comprobar las hipótesis de cálculos de la construcción, y posteriormente, durante la explotación de la presa, nos ha ayudado a verificar si las hipótesis de proyecto habían sido acertadas. Además de estos objetivos básicos, la Confederación Hidrográfica del Júcar ha querido, con esta auscultación, adquirir y transmitir una experiencia en el comportamiento de presas de escollera con núcleo similar al construido en Tous.

Además de estudiar los movimientos, tensiones y deformaciones registrados en los contactos del núcleo, en el cuerpo de la presa y en las diferentes estructuras, en la presa se realizan registros para el control de la posible actividad sísmica y el comportamiento hidráulico del conjunto. Para ello la presa cuenta con 400 sensores automatizados (con lectura directa desde el centro de control) y una larga lista de dispositivos de lectura manual.



Cuadro de elementos de auscultación				
Elementos de Auscultación instalados en la presa de Tous		Elementos instalados		% Elementos operativos
		Lectura		
		Automatizada	Manual	
Piezómetros de cuerda vibrante	Núcleo y contactos	76		80
	Cimentación de presa	37		100
Células de presión total	Núcleo y contactos	82		93
Termorresistencias PT-100	Estructuras	29		66
Extensómetros de armadura	D. intermedio, B-10	64		67
	D. intermedio, B-14	62		48
	Puente aliviadero	3		0
	D. intermedio, C.V.	36		67
Extensómetros de varillas	Galerías de presa (8 de 3v)	24		100
	Gal. y edif. Anexos (6 de 2v.)	12		100
	Edificios aliviadero (20 de 1v.)	20		85
Extensómetros mov. Relativo	Contactos del núcleo	14		21
Exten. Mov. comparativo C.A.P.	Núcleo		4	0
Células de asiento hidráulico	Cuerpo de presa		106	35
Estaciones de acelerometría	Presa	4		0
Estaciones de microsismicidad	Presa y entorno	8		0
Piezómetros control de niveles	Presa	3		100
Piezómetros abiertos	Presa		48	100
Drenes	Presa		28	100
Puntos topográficos	Presa y laderas del vaso		266	100
Aforadores de filtraciones	Presa y entorno		28	100
Control manantiales	Contorno de presa		8	100
Control de juntas	Presa (pozos y galerías)		147	100
Tubos inclinométricos	Cuerpo de presa		9	89
	SUMA	532	644	
	TOTAL	1176		

Curvas de igual asiento



+ PIEZÓMETROS ABIERTOS

Vigilando la presa y su entorno

Repasamos a continuación los registros más importantes de cuantos se realizan en la presa.

- De todas **las variables exteriores**, el nivel de la lámina de agua en el embalse constituye la de mayor interés junto con la temperatura ambiente y la pluviometría.

- Para controlar las **filtraciones y niveles piezométricos** se vigilan manantiales, surgencias y accidentes geológicos próximos (llegando hasta los términos municipales limítrofes) que pudieran derivar en filtraciones internas. Dadas las características de la cerrada, es importante destacar que el estudio sobre las laderas se realiza considerando de forma independiente ambas márgenes. En el esquema vemos la red de observación de niveles piezométricos

- La auscultación **del cimiento** nos permite conocer hasta qué punto se ha deformado este; la de **los contactos** nos facilita información sobre el comportamiento de la unión entre los diferentes materiales: arcilla y hormigón de dos épocas distintas.

- La auscultación **del cuerpo de presa** es muy extensa y tiene como objetivo conocer el comportamiento de la construcción y su deformabilidad. Para controlar los movimientos verticales se instalaron células hidráulicas de asiento y para los movimientos horizontales, extensómetros e inclinómetros; estos instrumentos permitieron conocer en detalle los cambios que se iban produciendo durante la construcción de la presa. Una vez finalizada la misma, la auscultación topográfica pasó a asumir el papel principal en el estudio de estos movimientos, ayudándose de inclinómetros.

- La auscultación **del desagüe intermedio** permite obtener información en relación con tres aspectos diferenciados: la evolución térmica del hormigón y el desfase existente con respecto a la temperatura ambiente, las presiones transmitidas sobre la estructura y las deformaciones inducidas en la estructura.

- En **las torres de acceso** (pozos P-3 y P-4), el control de movimientos se inició con una plomada y actualmente se vigila con medidores de juntas situados a 120 grados. Los movimientos de las cabezas de cada torre se controlan mediante topografía.

- El comportamiento del puente **del aliviadero** se verificó en su momento mediante una prueba de carga instrumentada en la que, además, se

incluyó un estudio del comportamiento dinámico (período de vibración y amplitud de las vibraciones que puede producir el viento). Como auscultación permanente se controla el estado tensional en la sección central del puente mediante extensómetros de armadura y mediante control topográfico. Los movimientos de los cajones laterales adosados a los cajeros del aliviadero se controlan con ternas de base en las puertas de entrada y extensómetros de movimiento vertical y horizontal.

- La **auscultación sísmica** debe atender a dos aspectos: detectar las sollicitaciones de carácter dinámico que pueden actuar sobre la presa en función de su localización (sismicidad propia) y observar los efectos que puede originar el llenado del embalse sobre la estructura tectónica del vaso (sismicidad inducida). Para su observación, la presa de Tous se equipó con acelerógrafos triaxiales instalados en coronación y en varias galerías de presa. Posteriormente, para el estudio del modelo corteza, se instalaron 6 registradores digitales de microsismos en un radio de 20 Km alrededor de la presa, así como un registrador digital portátil.

Sumando datos.

Lectura y archivo de la información

Aunque hay algunos datos cuya lectura debe ser manual, la mayor parte de los equipos de auscultación están cableados hasta unos armarios desde los cuales se realiza una toma de datos automatizada. Estas centrales de lectura se comunican directamente con el centro de control gracias a un cableado de fibra óptica instalado recientemente, ya que en el anterior comenzaban a aparecer fallos como consecuencia de la humedad del entorno.

La lectura de datos en la presa de Tous se encuentra muy planificada ya que con esos registros se ha querido observar de modo minucioso la finalización de la obra, comprobando el comportamiento de la presa a lo largo de una puesta en carga que se ha realizado en cinco escalones diferentes (1999, 2004, 2009, 2010 y 2011). Para ello, cada vez que el nivel del embalse aumentaba con respecto a registros anteriores, se aceleraba la toma de datos. En la actualidad, y puesto que el nivel del embalse alcanzó la cota máxima (119,46 m y 274 Hm³) el día 15 de mayo de 2011, las lecturas se han ralentizado.



Ejecución de elementos de auscultación

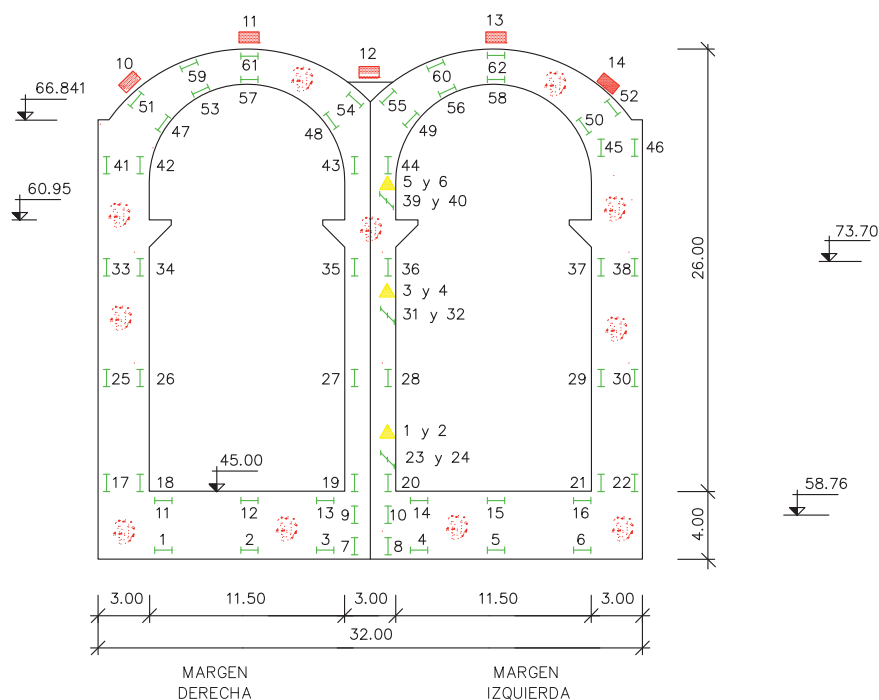
El archivo de la información ha ido incorporando las mejoras informáticas producidas a lo largo del tiempo. Actualmente se trabaja con una base de datos ASCII y un software de diseño específico que nos permite depurar la información y realizar gráficos tanto de evolución temporal como de formato específico. El programa diseñado permite la consulta de datos de forma remota a través de internet.

De los datos al conocimiento: el análisis de la información

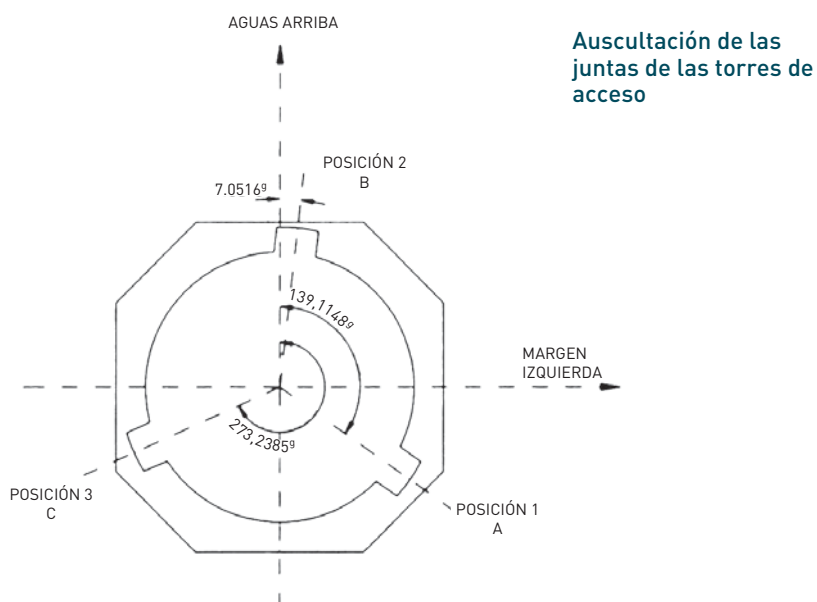
La acumulación de datos y la generación de gráficos han permitido realizar interesantes estudios específicos ya desde el inicio de la construcción de la presa. Uno de los más importantes se refiere al modelo tensodeformacional de los contactos del núcleo; otro estudio importante ha consistido en la creación de un modelo de movimientos del cuerpo de la presa; y un tercero analiza los movimientos postconstructivos, examinando los asentamientos de la presa en función de la carga a la que ha sido sometida en las distintas etapas.

Además de estos estudios, realizados para compartir el conocimiento generado en Tous, la auscultación permanente ha permitido detectar algunos problemas y realizar operaciones de corrección y mejora. Una de ellas ha consistido en sustituir los deflectores de salida de las válvulas Howell-Bunger ubicadas en el estanque de regulación ya que los anteriores presentaban fuertes vibraciones que se transmitían al hormigón del edificio. También se ha trabajado notablemente corrigiendo las filtraciones detectadas, asociadas a la presencia de fallas en la cerrada.

Al margen de estos dos aspectos se puede afirmar que ahora, tras casi dos décadas de explotación y aun cuando es esperable cierta evolución en la presa, el comportamiento general de la infraestructura es correcto: en el núcleo y los contactos se observa una tendencia clara a la estabilización; y en el cuerpo de la presa, aunque se siguen produciendo asentamientos, su ritmo es ya muy lento, mostrando un carácter asintótico tendente a la línea horizontal. También se confirma que el estado de operatividad y seguridad de los órganos de desagüe es muy satisfactorio.

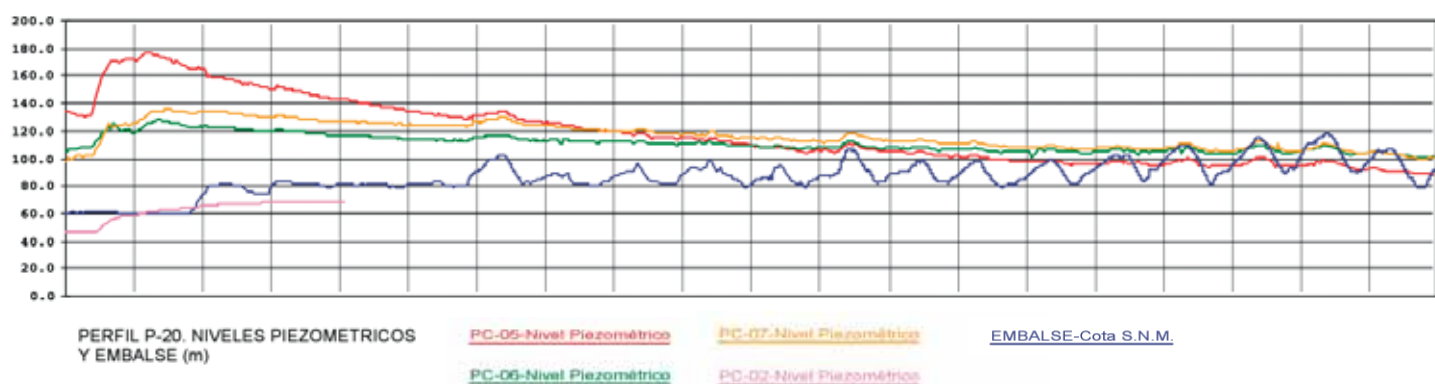
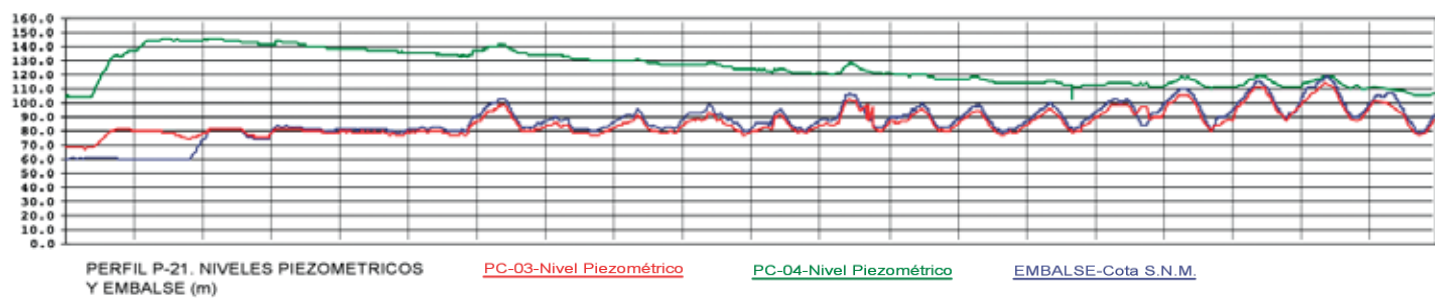
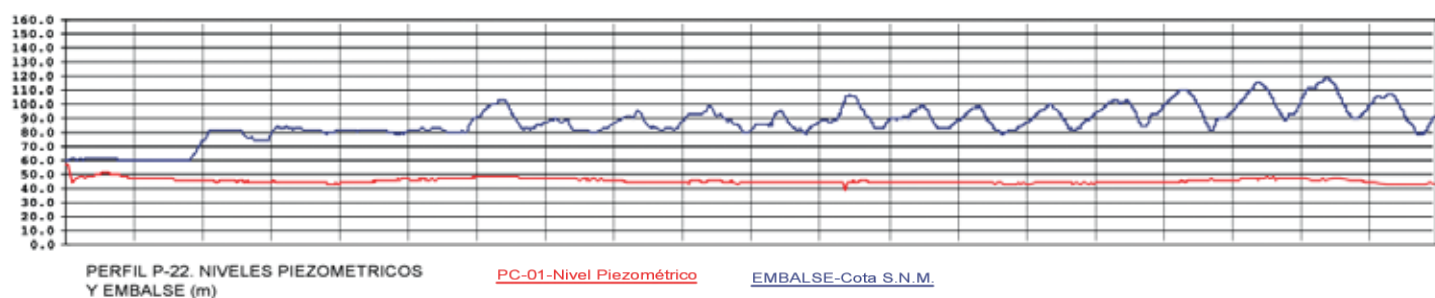
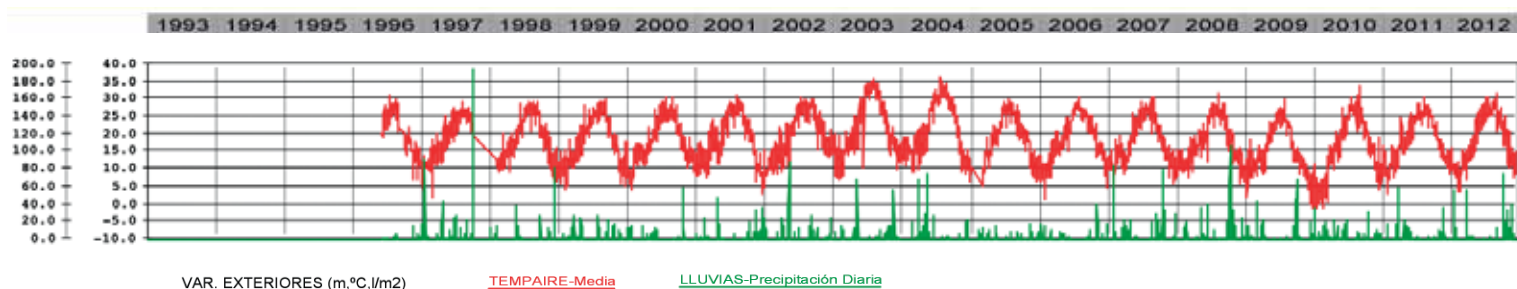


- CELULA DE PRESION TOTAL (CP)
- |— EXTENSOMETRO DE ARMADURA (D.)
- ▲ TERMOMETRO DE HORMIGON (T)

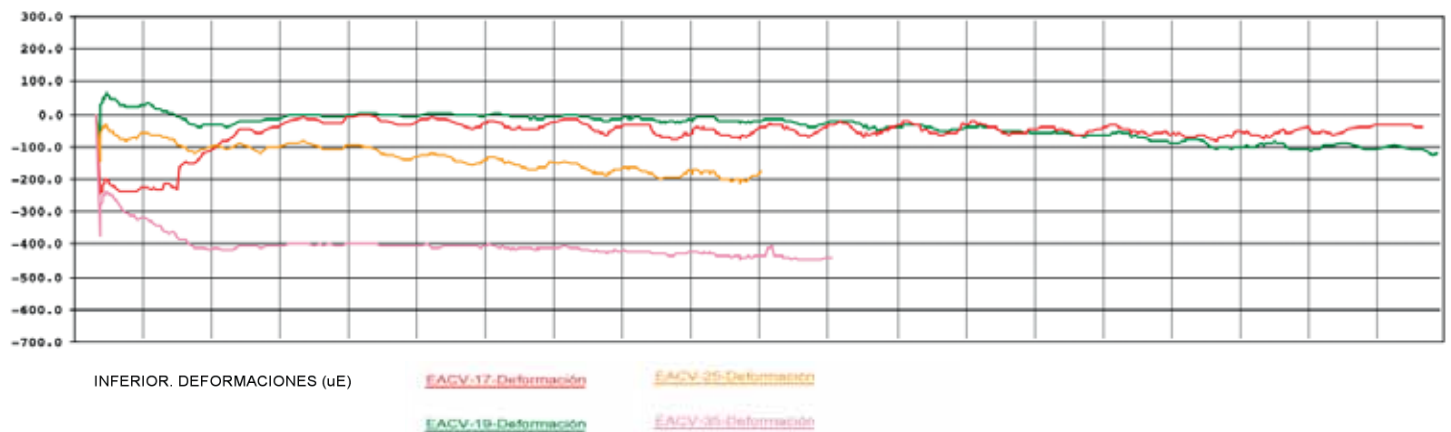
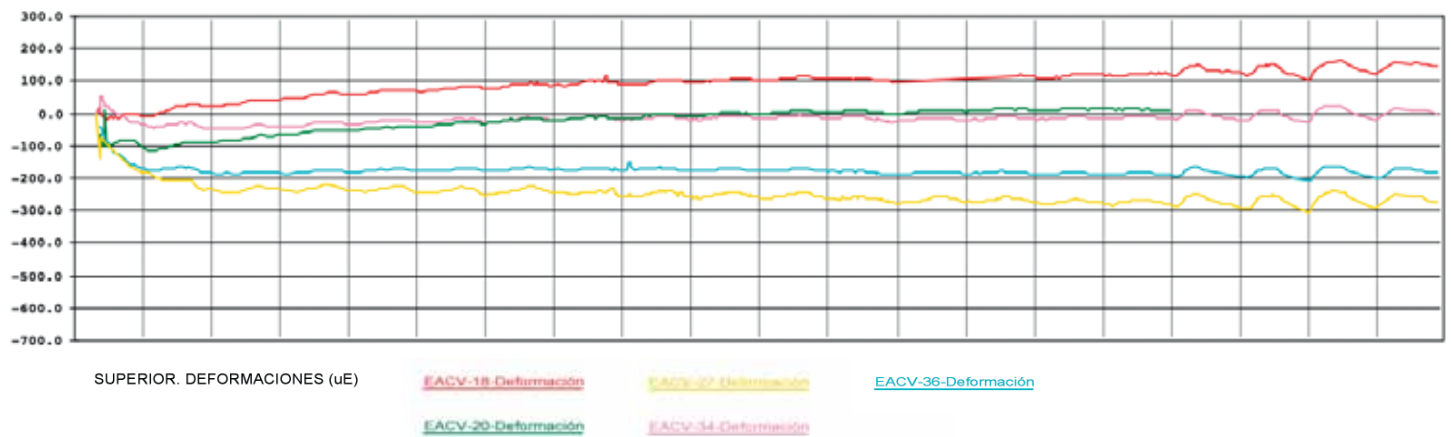
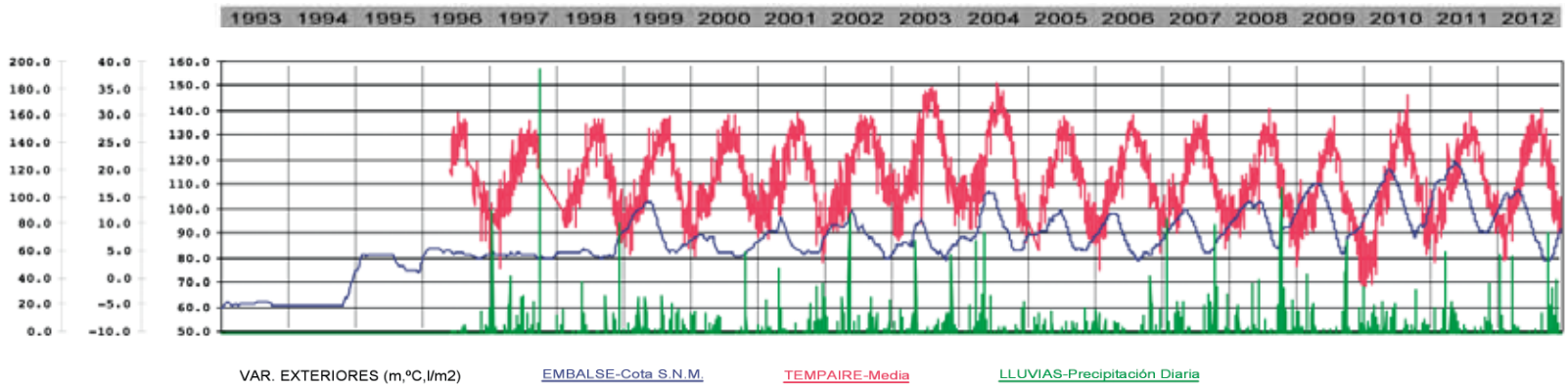


Auscultación de las juntas de las torres de acceso

Piezómetros de cuerda vibrante en el núcleo instalados en la cota 40.
Perfiles P-22, P-21 y P-20



Extensómetros de hormigón instalados en armaduras longitudinal
 Losa de la cámara de válvulas del desagüe intermedio



La recuperación del entorno

Una vez construida la presa, se abordó la restauración paisajística de las zonas afectadas por la obra. Así, los caminos, canteras o vertederos de áridos, imprescindibles durante la obra, fueron reintegrados al paisaje natural. Para ello se trató la roca descubierta, se cubrieron los taludes para prevenir la erosión y se recuperó la cubierta vegetal plantando centenares de árboles y miles arbustos creando un nuevo paisaje al que se incorporaron también varios espacios de recreo. Recientemente, las obras de terminación de la presa han permitido realizar distintas mejoras en este capítulo.

La restauración medioambiental realizada se puede resumir en los siguientes espacios:

Un mirador ajardinado frente al aliviadero

La excavación que se hizo aguas abajo del aliviadero y del desagüe intermedio, que tenía como objetivo despejar el cauce, dejó una amplia zona con taludes muy verticales excavados en caliza que iban desde la cota 57 a la 145 y presentaban cinco bermas de un ancho medio de 5 m. En conjunto, era un frente de unos 35.000 m² que tenía además una explanada de unos 13.000 m² en la zona superior, a la cota 145.

Para integrar los taludes, primero se realizó el envejecimiento químico de la roca y, posteriormente, se plantó flora propia de la zona en las bermas tras haber hecho una aportación de tierra vegetal. Para la explanada superior se consideró, dada la excelente vista que ofrece, que la mejor opción era convertirla en un mirador, suavizando los taludes próximos con relleno y posterior plantación. Se incorporó a ese espacio una zona cubierta, aparcamiento, un reloj de sol y el material y mobiliario auxiliar necesario, como bancos y papeleras.

En actuaciones más recientes se ha procedido a realizar la integración paisajística de la explanada inferior, situada junto al río Júcar. Esta extensa zona yerma, de unas 4 hectáreas de superficie, era una de las afecciones paisajísticas más importantes de las que inevitablemente se generaron durante la construcción de la nueva presa. El problema más evidente en este paraje era que el lecho de roca de esta explanada hacía inviable la regeneración espontánea de la vegetación, de modo que, para lograr su integración en el entorno en un plazo de tiempo razonable, se optó por aportar tierra vegetal, acopiada en caballones, y plantar en ellos árboles y arbustos autóctonos.

La forma y distribución de los caballones de revegetación obedece a una estudiada disposición que cumple dos misiones: por una parte permite apro-

Mirador de Antella al terminar las obras en la actualidad





vechar al máximo el efecto de ocultación que generará la vegetación en el futuro, considerando los lugares más frecuentadas por los visitantes; y por otra parte, logra retener el agua de escorrentía que llega la explanada y conducirla al cauce tras efectuar el máximo recorrido. Con ello se logra que la tierra de los caballones se empape de agua y que sedimenten los sólidos que lleva suspendidos. De este modo se irá formando una capa de suelo en el espacio entre los caballones sobre el que crecerá, progresivamente, la vegetación espontánea de la zona. El objetivo final es que la explanada quede nuevamente vegetada en su práctica totalidad.

Asimismo, y aprovechado las depresiones más propicias para el encharcamiento, se ha extendido una capa con tierra vegetal sobre la que se han plantado especies vegetales típicas de ramblas como el taray y la adelfa.

Como curiosidad cabe indicar que la abundancia de cabra montesa en el entorno de la presa de Tous ha obligado a seleccionar especies vegetales que, además de ser autóctonas, resulten poco apetecibles para este herbívoro. Así pues se han elegido especies como el romero, la adelfa, el taray y el pino entre otras.

De planta de machaqueo y vertedero a zona deportiva

En el barranco de Las Pedrizas, a unos 600 m aguas abajo de la presa y en su margen derecha, se ubicaba la planta de machaqueo y clasificación de áridos, así como un vertedero constituido por el material de desecho procedente de las excavaciones y de la propia planta. Esta zona abarcaba una superficie de 4,5 Ha.

Área recreativa

Terminadas las obras, en la parte baja se acondicionó una explanada de unos 30.000 m², transformándola en un área recreativa y deportiva que se dotó de las instalaciones necesarias: servicios, agua, energía eléctrica y depuradora, además de mobiliario rústico y zonas de juegos. El área se complementó con la plantación de coníferas y frondosas.

Asimismo en la zona del vertedero, y tras la extracción de materiales para el acondicionamiento del área, se efectuó un abancalamiento, procediéndose a su forestación y a la siembra de los taludes conformados.

En las obras llevadas a cabo recientemente, se han completado las instalaciones con el objeto de dotarlas de accesibilidad. En ese sentido se ha creado una red de senderos accesibles y una excelente área de juegos infantiles adaptados. Asimismo se ha dotado al área recreativa de una amplia zona deportiva, un parking para vehículos, un edificio bar y se ha renovado la pérgola existente.

Dos canteras restauradas y un segundo mirador

La Cantera de la Isla es una zona ubicada a unos 400 m aguas arriba de la presa y que se encuentra rodeada por los ríos Júcar y Escalona. De ella se extrajo una parte de los materiales para la construcción de los rellenos del cuerpo de presa. Unos 40.000 m² de la misma se sitúan por encima de la cota de máximo embalse normal así que, tratándose de una zona muy visible, se procedió a su restauración: primero acondicionando de taludes y después procediendo a la repoblación.

También aguas arriba de la presa, en la margen izquierda, estuvo la Cantera de Tous que, una vez terminada su explotación, dio paso a una explanada de unos 20.000 m² y taludes de 10 a 20 m prácticamente verticales. Los taludes se rellenaron para suavizarlos y luego se aportó tierra vegetal para su posterior plantación, generando así una zona de acampada. En cuanto a la explanada, y para aprovechar la vista panorámica que ofrece sobre el embalse y la presa, se eligió acondicionarla como mirador, construyéndose una zona cubierta.

En las recientes obras se ha ejecutado la acometida de agua y se ha construido una pequeña depuradora. Asimismo se ha mejorado el drenaje de la zona, se ha construido un parking y se ha instalado el alumbrado. También se ha mejorado y ampliado la zona ajardinada, para lo cual se ha construido una red de caminos y, en

los parterres, se ha plantado un buen número de árboles y arbustos de especies autóctonas.

Convertir un vertedero de áridos en pinar

Aguas abajo de la presa, y situado en la margen derecha, existe un barranco denominado de Los Charcos. Encajonado entre formaciones rocosas y poco visible, fue utilizado como vertedero, depositando en él la mayor parte de los materiales procedentes de excavaciones que no eran aptos para los rellenos de presa o para la fabricación de áridos para hormigones. Al final de la obra, unos 116.000 m² del lugar debían ser reintegrados al entorno.

Para ello se efectuó, en primer lugar, su acondicionamiento topográfico, realizando diversas plataformas a distinto nivel y posteriormente se ejecutó el subsolado de la superficie: era el trabajo necesario para poder efectuar la plantación de más de 10.000 pinos. Para asegurar el mantenimiento durante los primeros años de estos jóvenes ejemplares, se instaló una red de tuberías con bocas de riego, que se alimenta desde el depósito ubicado en el estribo de la margen derecha de la presa.

Integración ambiental paisajística de la red viaria

Muchos de los caminos que se trazaron y utilizaron durante la construcción de la presa, resultaron innecesarios cuando esta comenzó a funcionar, de modo que uno de los trabajos de restauración consistió en eliminar caminos innecesarios, rellenándolos y plantando nueva vegetación. Pero los caminos interiores que se mantuvieron dentro de la infraestructura no se dejaron sin más, sus taludes también fueron tratados para que quedaran integrados en el paisaje.

Dos décadas después, en los recientes trabajos de terminación de la presa, se han incorporado nuevas tareas de mejora paisajística con diversos objetivos: controlar algunos procesos erosivos observados en distintos puntos, prevenir erosiones en cunetas y bajantes pluviales, controlar desprendimientos y mejorar la estética en varios desmontes y terraplenes.

Estos trabajos han afectado a varios puntos. En el camino de acceso desde coronación al mirador de Tous se han corregido cárcavas y se han construido cunetas de drenaje. En la red interior de caminos se ha mejorado el drenaje en general. En



los tramos en los que se observaba riesgo de desprendimientos se han saneado los taludes e instalado malla de triple torsión. En otros, además, se han instalado mallas de fijación de suelos y se han efectuado hidrosiembras buscando el arraigo de vegetación natural.

Un trabajo adicional ha consistido en estrechar la explanada, en ocasiones excesiva, de tres diferentes caminos. Para ello se han realizado rellenos con tierra vegetal y se han plantado árboles y arbustos.

Integración de diferentes taludes

Además de las actuaciones que afectan a grandes espacios, hubo otra gran cantidad de trabajos de restauración paisajística destinados a integrar distintos taludes. En general, la principal estrategia empleada ha sido ocultar la roca que había quedado al descubierto propiciando el crecimiento de vegetación. Estos fueron algunas actuaciones:

- Tratar los taludes que bordean el estanque de regulación para mejorar su aspecto y evitar posibles desprendimientos. El tratamiento consistió en la ejecución de hidrosiembra arbustiva sobre una

Talud regenerado mediante malla e hidrosiembra

Puente aguas abajo que une ambas márgenes del río Júcar

capa de tierra vegetal que se asienta sobre una malla de polipropileno que se encuentra anclada al terreno para evitar su deslizamiento.

- Cubrir con un manto de tierra vegetal las plataformas de las cotas 70 y 80 ubicadas aguas abajo de la presa. Posteriormente se plantaron coníferas, frondosas y matorral, conformando una serie de bosquetes.

- Tratar los taludes casi verticales y las bermas de 5 m de ancho que quedaron al descubierto tras la excavación del aliviadero. Las técnicas aquí han sido similares a las de otros taludes.

- En el relleno del trasdós de los muros del aliviadero, y correspondiendo a las zonas de mayor pendiente, se colocó una manta de tipo orgánico para impedir arrastres y erosiones y posteriormente se efectuó la plantación de coníferas y matorral autóctono. En la siguiente foto se aprecia el resultado de dichos trabajos transcurridos más de 15 años.

Otros trabajos paisajísticos

- Integrar el frente de cantera de la margen derecha del cauce que había quedado muy visible desde los caminos interiores de la presa. Esta actuación, ejecutada entre las recientes obras de finalización, ha consistido en tratar un gran talud rocoso mediante instalación de malla volumétrica tipo Trinter e hidromanta, aportación de tierra vegetal, ejecución de caballones, corrección de cárcavas y repoblación con pinos.

- Ajardinar el espacio que rodea la casa de administración, el local donde se sitúan el centro de control y las oficinas de gestión de la presa. Este jardín, ejecutado con los primeros trabajos de restauración paisajística, ha sido renovado y remodelado recientemente, utilizando especies vegetales de baja demanda hídrica e instalando materiales para el riego que requieren escaso mantenimiento.

- Integrar la zona de la antigua subestación eléctrica. Esta tarea, incluida entre las últimas actuaciones, ha consistido en recuperar esa zona que había quedado degradada, cubriéndola con tierra vegetal y plantando pinos, adelfas y distintas aromáticas.

Suministro de agua

Para garantizar el suministro de agua potable y no potable y de agua para riego se construyeron en la presa una serie de instalaciones incluyendo:

- Un depósito de hormigón armado de 200 m³ de capacidad para agua de riegos.
- Un depósito de hormigón armado de 10 m³ de capacidad para agua potable.
- Una planta potabilizadora.
- Una depuradora.
- Equipos de bombeo y sus conducciones correspondientes.

Un puente aguas abajo de la presa

A unos 700 m aguas abajo de la presa se construyó un puente con la finalidad de unir ambas márgenes del río Júcar y dar acceso al área recreativa y mirador de Antella, construidos en la margen derecha. Consta de cuatro vanos que se apoyan en dos estribos y tres pilas intermedias. Su anchura es de 8,00 m, con 6 m de calzada y 1 m de acera a cada lado. La protección de las zapatas de las pilas se ha ejecutado con escollera.

El puente tiene la rasante a la cota 63,25. La determinación de esa cota se ha realizado en función de un caudal máximo evacuado de 2.500m³/s, que es el que corresponde a la laminación de la presa para una avenida de 500 años de período de retorno.

Acondicionamiento de carreteras

Las carreteras de acceso a la presa se acondicionaron para mejorar su tránsito y seguridad. Los trabajos afectaron a la carretera que una la presa con la población de Antella y a la que da acceso a la presa desde Tous. En ambos casos, las actuaciones consistieron en ampliar la calzada y las obras de fábrica, mejorar el trazado y reforzar el aglomerado asfáltico además de la limpieza de cunetas y la restitución de servicios.

Más recientemente, en la red de caminos de la presa de Tous se han efectuado trabajos de protección frente a desprendimientos saneando taludes e instalando malla de triple torsión. También se han realizado actuaciones para controlar la erosión mediante la construcción de drenajes, como en el camino 3I y 7D, la instalación de mallas de fijación de suelos e hidrosiembras según el caso.

También se ha asfaltado parte de la mencionada red vial.







05

La finalización de la presa

Mejoras generales y un espacio para la divulgación

Aunque entró en funcionamiento hace casi dos décadas, la presa de Tous aún ha contado con una serie de obras de finalización que se han extendido entre 2008 y 2013. Eran actuaciones complementarias. Unas se habían revelado necesarias tras los primeros años de explotación de la presa y estaban destinadas a incrementar la seguridad y el control en el funcionamiento de los desagües o incluso a la reparación medioambiental; otras mejoras se planificaron tras analizar los ensayos en modelo reducido. Y la última de las actuaciones ha estado destinada a mejorar el conocimiento del público general en torno al Júcar y ha consistido en la instalación de un Centro de Interpretación dentro de las propias instalaciones de Tous.

05

La finalización de la presa

Mejoras generales y un espacio
para la divulgación





Las actuaciones complementarias, efectuadas entre 2008 y 2013 fueron recogidas en el *Proyecto de obras de terminación de la presa de Tous* con fecha de junio de 2006. Una parte importante de las obras proyectadas nacían de la experiencia y otras de un estudio efectuado por el CEDEX. Esta institución realizó varios ensayos en modelo reducido y publicó sus conclusiones en su "Comprobación del funcionamiento conjunto del aliviadero y el desagüe intermedio de la nueva presa de Tous". En ellas se proponían mejoras tanto en el aliviadero (ampliando las losas de protección al final del trampolín) como en el desagüe intermedio (construyendo unos azudes) y en la escollera del cauce a la salida del aliviadero - desagüe intermedio.

Mejoras al final del aliviadero y en el puente que lo corona

Para evitar erosiones generalizadas y el posible descalce del aliviadero ante una avenida, los estudios del CEDEX recomendaban la **ampliación de las losas de protección del aliviadero aguas abajo del trampolín**. Obra. La ampliación de dichas losas se extiende hasta una longitud de 40 m hacia aguas abajo del labio de salida y se anclan en la roca existente mediante una malla de anclajes de acero de 32 mm de diámetro. La distancia entre los anclajes en dicha malla es de 1,70 m y la profundidad de los mismos es de 12 m. Asimismo el espesor de hormigón de las losas es de 1 m.

Imágenes del antes y el después de la ampliación de las losas de protección del aliviadero aguas abajo del trampolín

Blindaje de las rampas de salida del desagüe intermedio

A lo largo del tiempo, en las inspecciones llevadas a cabo se detectó que los conductos de descarga del desagüe intermedio tenían un hormigón deteriorado. Este deterioro se estimó que era consecuencia de la alta velocidad que alcanza el agua en dichos conductos con despegue de la lámina de agua en algunas zonas y la consecuente cavitación.

Tras estudiar distintas alternativas se decidió proyectar un blindaje metálico capaz de garantizar la solución al problema. Este blindaje se ha construido a base de chapas de acero de 15 mm de espesor sujetas mediante anclajes químicos al hormigón de los conductos. Ahora bien, la ejecución del blindaje presentaba una serie de factores que lo dificultaban de manera extraordinaria: la pendiente de los conductos, el ancho de las secciones, el plazo de ejecución y la seguridad que se debía lograr en cada una de las operaciones.

Tras analizar estos condicionantes, la solución elegida pasó por la utilización de dos carros de montaje polifuncionales que permitían su uso como plataforma de transporte de materiales, útil de posicionamiento y de colocación de chapas a la vez que servía de plataforma de trabajo de todas las actividades de anclaje, soldadura, pintura y ensayos respectivos.

El procedimiento de ejecución del blindaje, a grandes rasgos fue el siguiente:

- Preparación en taller especializado de las chapas a colocar con el corte a medida, taladrado de los puntos de anclaje, granallado e imprimación de ambas caras y preparación de bordes para la posterior soldadura en obra.

- En talleres de obra, se colocan y sueldan los casquillos de los inyectores, las chapas de continuidad entre cajones consecutivos y las piezas posicionadoras de rasante.

- Se granallan las zonas afectadas por la proximidad de las operaciones de soldadura que se pudieran ver afectadas, y posteriormente se impriman.

- En cámara de pintado de los talleres de obra se aplican las distintas capas de pintura de cara de hormigón, controlándose en todo momento los tiempos de aplicación, espesores y curado de cada capa.

- Cada modulo (2 chapas laterales y una chapa de solera) es cargado sobre el carro polifuncional, que las transporta a su lugar de colocación colocadas y abatidas sobre la horizontal donde finalmente serán colocadas.

El carro circulaba sobre las chapas colocadas previamente, con los anclajes necesarios para el premontaje, pero sin inyectar ni soldar, arrastrado por los cables de un tráctel situado en la parte superior de los conductos. Para poder circular con



seguridad y evitar la deformación de las mismas, se realizaban una parte de los taladros de fijación de la chapa mediante anclajes de altas resistencias iniciales, de manera que a las pocas horas de su colocación adquirieran resistencia suficiente para poder permitir el paso del carro sin producir deformaciones.

En primer lugar se montó la chapa de solera que queda fijada con topes y uñetas, se movió el carro sobre la chapa y se fijó ésta con 4 anclajes químicos rápidos (a los 5 minutos obtienen una resistencia de 9 Tn). El anclaje consiste en realizar la perforación, soplar el interior para eliminar polvo e impurezas, colocar el cartucho y meter la varilla roscada.

Estos primeros anclajes se realizan lo más próximo a la zona de rodadura. A los 5 minutos ya se puede realizar la soldadura de estos anclajes con la chapa y el carro podrá posicionarse encima de ésta. Una vez premontada la chapa inferior se premontan las chapas laterales (derecha e izquierda). Se ejecutan 4 anclajes químicos en cada una de las chapas, con lo que la chapa ya queda fija en su posición definitiva y el carro queda liberado para las siguientes maniobras.

Descripción de los pasos de la plataforma para el montaje de un módulo.

Todas estas maniobras de premontaje se realiza-

ron en el turno de día y sin ninguna actividad simultánea en la misma galería para poder trabajar con la máxima seguridad.

Colocada la chapa fija en su posición, en el siguiente turno de noche se realizan todas las perforaciones inyectando la resina (y/o cartucho) colocando las varillas. A las 8 horas ya se pueden soldar las varillas a la chapa quedando de esta forma perfectamente colocada.

El ciclo de carga, transporte, fijación previa y posterior bajada a recoger un nuevo módulo dura aproximadamente entre 4 y 5 horas, obteniéndose unos rendimientos de entre 2 y 3 módulos diarios.

Este proceso se repite hasta completar la totalidad de cada uno de los conductos (38 módulos por cada uno de los mismos). Una vez se han fijado la totalidad de los anclajes se procede a la soldadura completa de los mismos.

- Las operaciones finales de montaje finalizan con todas las piezas especiales de remate de cajones con compuertas, del borde superior de cajones verticales, de cierre entre galerías frontalmente, y de la cuña inferior de finalización y acuerdo de pendientes

- Una vez soldados los módulos completos, se realiza la inyección de contacto entre hormigón

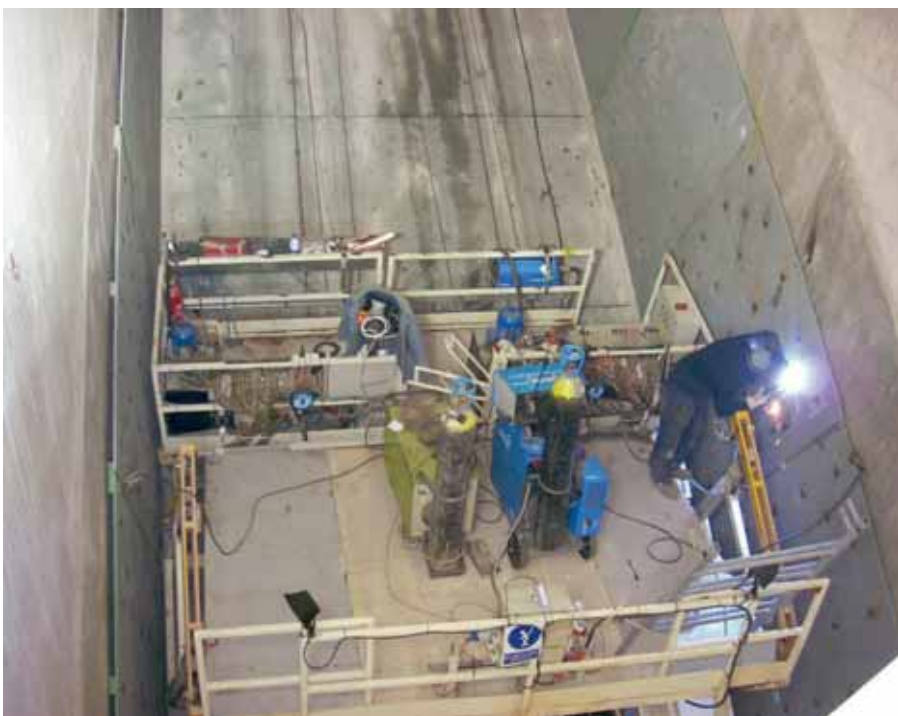
Maniobra de carga de las placas que conforman un módulo para colocarlas en su lugar definitivo

Obra Maniobras de premontaje desde la plataforma

Trabajos de soldadura desde la plataforma en el turno de noche.

Inyección del contacto chapa-hormigón

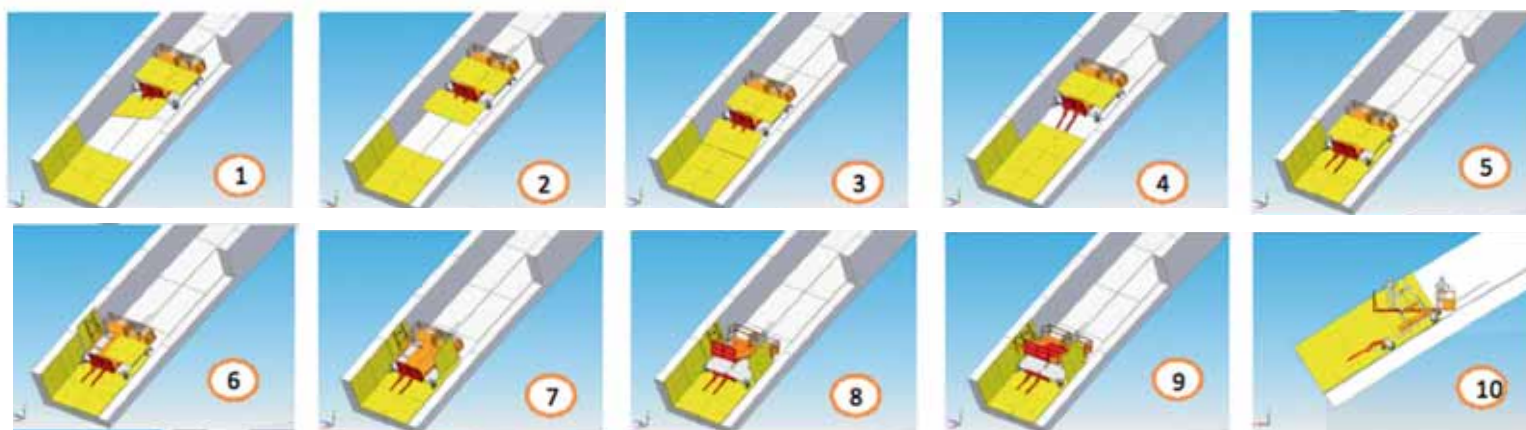
Estado final de una chapa lateral tras el soldado de tapones y anclajes





Obra Trabajos de pintado del blindaje

> Protección a base de escollera a la salida del desagüe intermedio



Diseño en ordenador de las fases de montaje

y chapa. Para ello, se utiliza un mortero de alta resistencia de 40 MPa, autonivelante y sin retracción para poder garantizar el correcto contacto chapa-hormigón. La inyección se realiza de abajo arriba, llevando dos circuitos de inyección paralelos, y comprobando el rebose de lechada con los inyectoros de control dispuestos para ello.

- Realizada la inyección se colocaron y soldaron los tapones de cierre de inyección, que previamente habían estado cerrados por un tapón de material plástico.

- Por último se granalló e imprimó nuevamente la totalidad de la superficie con grado SA3, para aplicar la capa de revestimiento definitiva con 500 micras de poliuretano aromático y 80 micras de poliuretano alifático con certificado de potabilidad.



Protección del cauce a la salida del desagüe intermedio

Como ya se ha comentado, esta obra también derivó de los ensayos realizados en modelo reducido efectuados por el CEDEX que contemplaban la necesidad de protección del cauce a la salida esta estructura [igual que a la salida del aliviadero].

Con este objetivo, se colocó una protección a base de escollera con un peso mayor de 2,7 Tm colocada y recebada en toda la anchura del cauce.

Los trabajos comenzaron con la excavación del cauce hasta la cota necesaria que aportara un sustrato rocoso de alta capacidad portante.

A continuación se colocaba escollera tipo 3A, en un espesor mínimo de 0,50 m. Una vez colocada esta escollera se procedió a cubrición de la misma a base de escollera de mayor tamaño (con un peso superior a 2,7 tm). Esta escollera quedó perfectamente recebada de manera que regularizaba completamente la sección del cauce dentro de las cotas marcadas.

Los trabajos se desarrollaron desde la salida del cuenco amortiguador del desagüe intermedio e incluyeron la parte final de la vaguada del Barranco de los Charcos, que confluye con la salida del aliviadero, hasta el punto donde finaliza el talud que define la explanada de cota 70, situada aguas abajo de la presa, con una longitud total de protección del orden de 400 m, consiguiendo así una mejor protección del cauce existente y evitando sus posibles descalces futuros ante los altos caudales que puedan darse en avenidas.

A continuación se muestra una evolución de los trabajos desde su comienzo hasta la finalización de las obras.





Azudes en los conductos de salida del desagüe intermedio

En la construcción de la actual presa de Tous, se situó el desagüe intermedio sobre el aliviadero de la presa antigua. Este desagüe ha sido objeto de seguimiento y estudio desde el inicio de su construcción. Al igual que en los casos anteriores, la construcción de estos azudes deriva de los estudios de modelos reducidos del funcionamiento conjunto del aliviadero y desagüe intermedio.

Según se indica en este trabajo, se estima conveniente la ejecución de unos azudes a la salida de los conductos del desagüe de manera que se garantice el buen funcionamiento de los cuencos de amortiguación. Concretamente se indica que “se ha hecho patente la importancia de los niveles a la salida de los túneles para el funcionamiento de los cuencos. Estos niveles son producidos por las condiciones en el lecho del río aguas debajo de la presa, bien en el cauce a la salida del desagüe intermedio o bien más aguas abajo. Para una apertura total de las dos compuertas de un cuenco, el nivel previsto a la salida de los túneles es insuficiente para mantener el frente de resalto en el comienzo del cuenco e incluso con las cuatro compuertas totalmente abiertas, es de temer que los dientes no se encuentren suficientemente protegidos” [...] “se han diseñado unos azudes al final de los cuencos que mantengan los nive-

les suficientemente altos para garantizar su buen funcionamiento”

El perfil geométrico de estos azudes se ha construido adoptando como umbral de los mismos la cota 55,6 y disponiendo un perfil tipo bradley obteniéndose una anchura en la base de 15,57 m.

Las estructuras se han construido de hormigón armado tipo HA-25.

Inyección de fisuras en el desagüe intermedio

En las visitas de inspección a los conductos de descarga del desagüe intermedio, llevadas a cabo de acuerdo con las *Normas de Explotación*, se observó que existían una serie de fisuras en el hormigón de dichos conductos, fundamentalmente en las losas superiores. Tras estudiar las mismas y consultar con técnicos expertos en estructuras, se llegó a la conclusión de que dichas fisuras no representaban, a corto plazo, un problema estructural ni de funcionalidad de los conductos, si bien sí que podrían suponer un problema para la durabilidad de la estructura a largo plazo. Estos problemas de durabilidad podrían venir originados por una posible corrosión de las armaduras de di-



chos conductos en el caso de que dichas fisuras llegaran a alcanzar el armado y éste estuviera sometido a corrientes de agua. Con el objetivo de evitar este posible problema se trataron las fisuras mediante la inyección de una resina epoxi a base de poliuretano de baja viscosidad, con alta flexibilidad e impermeabilidad y apta para el agua de consumo humano.

Una de las singularidades de esta actuación es la dificultad de conseguir que el embalse esté lo suficientemente bajo, por debajo de la cota 80, como para poder acceder a estos conductos, desde aguas arriba por el embalse. Para conseguirlo deben darse dos circunstancias: en primer lugar debe darse un periodo seco tal que, tras la campaña de riegos (a finales de verano), el embalse esté a una cota menor de la 80; al mismo tiempo, la explotación de la presa debe optimizarse de manera que se atiendan las demandas sin desembalses técnicos y con una oscilación del embalse máxima de 1,5 m (lo que equivale aproximadamente a 5,2 Hm³) tratando de dar entradas por salidas para poder mantener la cota del embalse durante el período de las obras. Evidentemente para conseguir garantizar esta pequeña oscilación de cota del embalse durante el periodo de las obras se deben realizar las oportunas ges-

tiones con los embalses de aguas arriba, incluidos los hidroeléctricos.

Los trabajos comenzaron con la colocación de un andamio que permitiera acceder al interior de los conductos a través de la berma cota 100, colocando éste de forma descendente para llegar a la cota 80.

Montado el andamio que posibilitaba el acceso al interior de los conductos del personal, se introdujo la maquinaria con grúas y se colocaron ataguías en cada uno de los conductos de manera que se pudiera trabajar en su interior con toda seguridad, con una carrera de agua de $\pm 1,5$ m.

Una vez limpia la superficie a tratar, se sanearon las fisuras mediante el uso de radial y se sellaron con mortero epoxi para impedir la pérdida de resina durante la fase de inyección. A continuación se ejecutaron los taladros, a tresbolillo, de 16 mm de diámetro con una separación longitudinal de 30 cm a uno y otro lado de las fisuras y se procedió a colocar los tapones de los agujeros para posteriormente inyectar cada uno de los taladros. Por último se extrajeron los tapones y se sellaron los huecos con mortero.

Evolución de los trabajos en la construcción del azud del desagüe intermedio

Inyección en las fisuras del desagüe intermedio



Estanque de regulación
Modificación del deflector de las válvulas Howell
Salida de ventilación

Cambios en el estanque de regulación

Estando la presa en funcionamiento, se detectaron vibraciones en la salida del agua por las Howell al depósito de regulación que aumentaban, sobre todo, con niveles de embalse superiores a la cota 96, siendo extremadamente intensas a partir de la cota 100, motivo por el cual se solicitó asesoramiento al CEDEX, que realizó una inspección. Sus conclusiones quedaron reflejadas en el *Estudio de las vibraciones del edificio de válvulas de las tomas de la Presa de Tous* fechado en octubre de 2005. También aportó un estudio detallado de los registros recogidos para todas las aperturas de la válvula Howell y para diversas cotas de agua en el estanque, antes de tomar una determinación sobre los trabajos a realizar partiendo del hecho de que el agua a la salida de las válvulas no aspiraban nada de aire de los conductos existentes a tal fin.

Tras constatar la persistencia del problema se concluyó que el deflector de salida de las válvulas era el causante del problema puesto que en los mismos había moho depositado lo que era síntoma de que el agua en su salida no circulaba "lamiendo" a los deflectores y produciendo de este modo las vibraciones.

Después de los estudios realizados y tras recopilar información existente del funcionamiento de

las pocas válvulas Howell sumergidas existentes, analizando las soluciones adoptadas frente a problemas similares en distintas presas, se diseñó un modelo de deflector que fue incluido en el *Proyecto modificado nº 1 de obras de terminación*.

Durante los años 2010 y 2011, la presa alcanzó sus niveles máximos históricos permitiendo comprobar el funcionamiento de uno de los deflectores que ya había sido sustituido, siendo este satisfactorio notándose una disminución drástica de las vibraciones.

Tras comprobar el éxito del diseño, se procedió a implementar la solución en las otras dos válvulas Howell Bunger que presentaba problemas similares.

El carrete está diseñado para dotar de aire dos zonas claramente diferenciadas, el interior y el exterior del chorro de salida de la válvula Howell, para lo cual se han dispuesto dos cámaras independientes: la primera, aguas arriba justo en la parte troncocónica se comunica con los tubos de aireación existentes y proporciona el aire necesario en el exterior del chorro. La cámara de aguas abajo, dispone en el interior del carrete de tres nervios o tajamares radiales a 120º huecos para dotar de aire al interior del chorro, mediante dos tubos de diámetro 400 mm que permiten la admisión de aire desde el exterior.



Ventilación forzada en galerías

En la red de galerías de la presa existían varias que, por su longitud y elevado desarrollo dentro de los estribos de la presa, presentaban problemas de ventilación y circulación de aire, con condensaciones acentuadas, fundamentalmente en los fondos de saco. La forma de solucionarlo fue mediante una ventilación forzada que permite la renovación del aire y evita la condensación.

Las galerías que presentaban estos problemas eran el interior de las torres de acceso a la cámara de compuertas del desagüe de fondo, al pozo 4 y a las galerías G4 y G5.

Para conseguir la adecuada ventilación de las galerías perimetrales se ejecutaron dos pozos con revestimiento metálico de 400 mm de diámetro, desde el exterior, en caminos de acceso a la coronación de la presa (uno en la margen derecha y otro en la margen izquierda). Gracias a los nuevos pozos y los ventiladores introducidos se produce una conveniente circulación y regeneración de aire que evita las condensaciones y mejora la calidad del aire que hay en su interior.



Mejora de caminos

Recuperación medioambiental



Mejora de carreteras y caminos

Con objeto de asegurar la calidad y durabilidad de las calzadas interiores de la presa y para mejorar la seguridad vial se ha ejecutado una mejora del firme de los caminos interiores por medio de una capa de rodadura de 7 cm de espesor a base de aglomerado asfáltico en caliente tipo S12.

Los principales caminos aglomerados son el Camino al mirador de Antella, el 31 y del estanque de regulación.

Telemando y vigilancia

En las obras de terminación de Tous se ha modernizado el sistema de maniobra de válvulas y compuertas para aumentar la seguridad de la presa, sustituyendo la red de autómatas de control de cada instalación y el ordenador central de telemando, eliminando los equipos anteriores ya obsoletos y sin posibilidad de reparación. Todos los componentes de la instalación están enlazados por cable de fibra óptica desechando los anteriores cableados convencionales, aumentando la fiabilidad y la seguridad.

Las mejoras realizadas han consistido en los siguientes puntos:

- Se modifican los equipos en el Centro de Control actualizándolos a las nuevas tecnologías, instalando un videowall de un solo cubo y teniendo que adaptar el espacio físico del Centro de Control a los nuevos equipos.

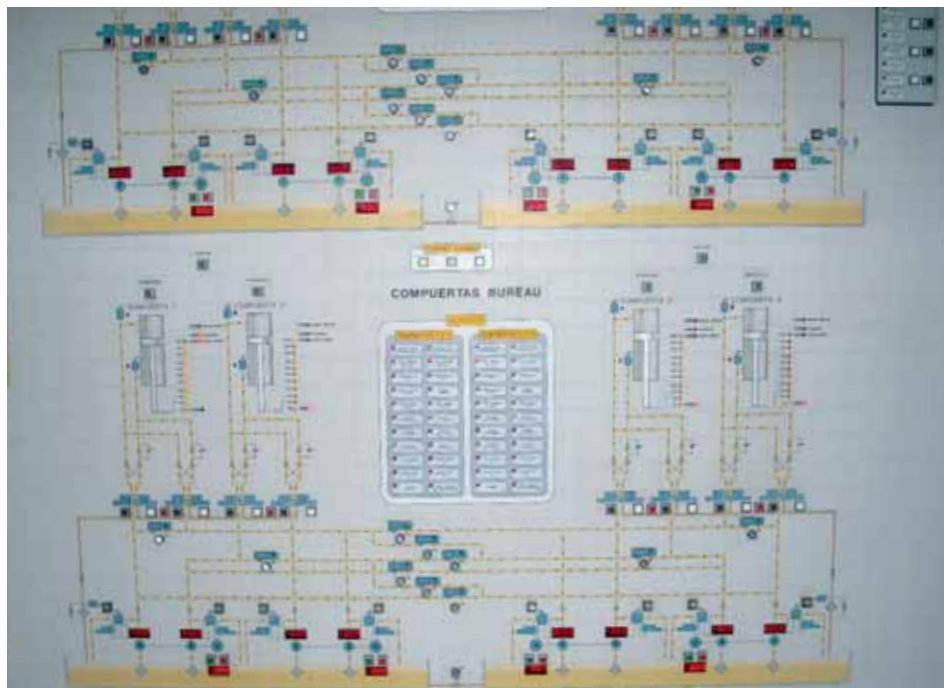
- Se instalan nuevas cámaras de videovigilancia, para controlar todos los accesos, incluso los detalles de posición de compuertas y otros elementos importantes de la instalación. Las cámaras instaladas son de tecnología TCP/IP, con mayor calidad de imagen y con posibilidad de incluir la imagen en el Scada, además de tener funciones de intrusismo.

- Por razones de seguridad y debido al aumento de número de cámaras, se hace necesario incrementar la red de fibra óptica y con ello el número de equipos de gestión de la información como switches.

- Se realiza una modificación en los circuitos hidráulicos del desagüe intermedio y desagüe de fondo, mejorando el accionamiento de las compuertas con el equipo auxiliar diesel. Además se añaden sensores para mejorar el control de la posición de compuertas, equilibrado de presiones, nivel del estanque, etc.

- Se instala un grupo electrógeno en la subestación transformadora para alimentar los sistemas de control, de los transformadores instalados así como la alimentación de los servicios auxiliares de la subestación transformadora y permitiendo las maniobras de reconexión tras un fallo en la acometida eléctrica

- Se mejora la cobertura de la telefonía propia de la presa para que exista comunicación en todos los puntos de explotación.







Centro de control.
Videowall, monitores de
seguimiento y sinóptico



La estación de bombeo al canal Júcar-turia. Cambio en la calderería

La central de bombeo fue construida debido a la imperiosa necesidad de restablecer el suministro de la demanda a través del Canal Júcar-Turia tras el desmoronamiento de la antigua presa. Con la presa actual, los caudales necesarios por el canal Júcar-Turia son suministrados por la toma de agua. No obstante, esta central de bombeo queda como instalación de emergencia ante situaciones de sequía en las que el embalse se situó por debajo de la cota 78.

En el año 2008 existía una estación de bombeo con 6 bombas de 1000 CV capaces de impulsar cada una 3,2 m³/s. Se comprobó que existían problemas

en la colectora de distribución debido a que su espesor se había visto reducido a 4 mm debido a la corrosión. Se comprobó que el sistema era poco robusto ante averías, pues el fallo de la colectora colapsaría el sistema de impulsión.

Dado que el abastecimiento a Valencia y área metropolitana, en situación de emergencia depende en algunas situaciones de esta infraestructura, era necesario abordar el problema y se hizo necesaria la instalación de un nuevo colector. Para aumentar la fiabilidad de la instalación de impulsión se desdobló la tubería, quedando instalados dos colectores conectados con tres bombas cada uno.



Mejora de la instalación de impulsión mediante la creación de un bicolector

De esta manera se gana en flexibilidad del conjunto ante un fallo en una colectora, pues se tendría la otra hasta solventar el problema.

Se instalaron dos colectores de 1800 mm de diámetro de acero inoxidable que se unirían posteriormente, mediante una pieza pantalón, en una tubería de 2,40 m de diámetro interior situada justo antes de la chimenea de equilibrio. Gracias a este sistema y ante una avería en una de las tuberías de impulsión, se podrían mantener en funcionamiento tres de las seis bombas instaladas, con un caudal de 3,2 m³/s por bomba.



Recuperación medioambiental

Las obras de terminación de la presa han continuado la labor de recuperación ambiental que se abordaron cuando la presa entró en servicio, completando y mejorando las actuaciones previas.

En estas tareas se han utilizado en su totalidad plantas autóctonas de la zona buscando minimizar los daños que puedan provocar los ejemplares de cabra hispánica procedentes de la reserva de Cortes la Muela que han invadido la presa, mediante protecciones a la vegetación y empleo de especies no atacables por ellas. Esta última circunstancia no prevista ha adquirido importancia dado que la presencia de dicha especie se ha multiplicado y se han constatado daños a la vegetación de la presa y a las hidrosiembras.

Se han plantado más de 14.500 plantas de unas 40 especies diferentes entre árboles y arbustos, destacando pinos, almeces, fresnos, moreras, cipreses, chopos, adelfas, tarayes, lentiscos, enebros, palmitos y aromáticas como el romero, la lavanda, la santolina y el tomillo.

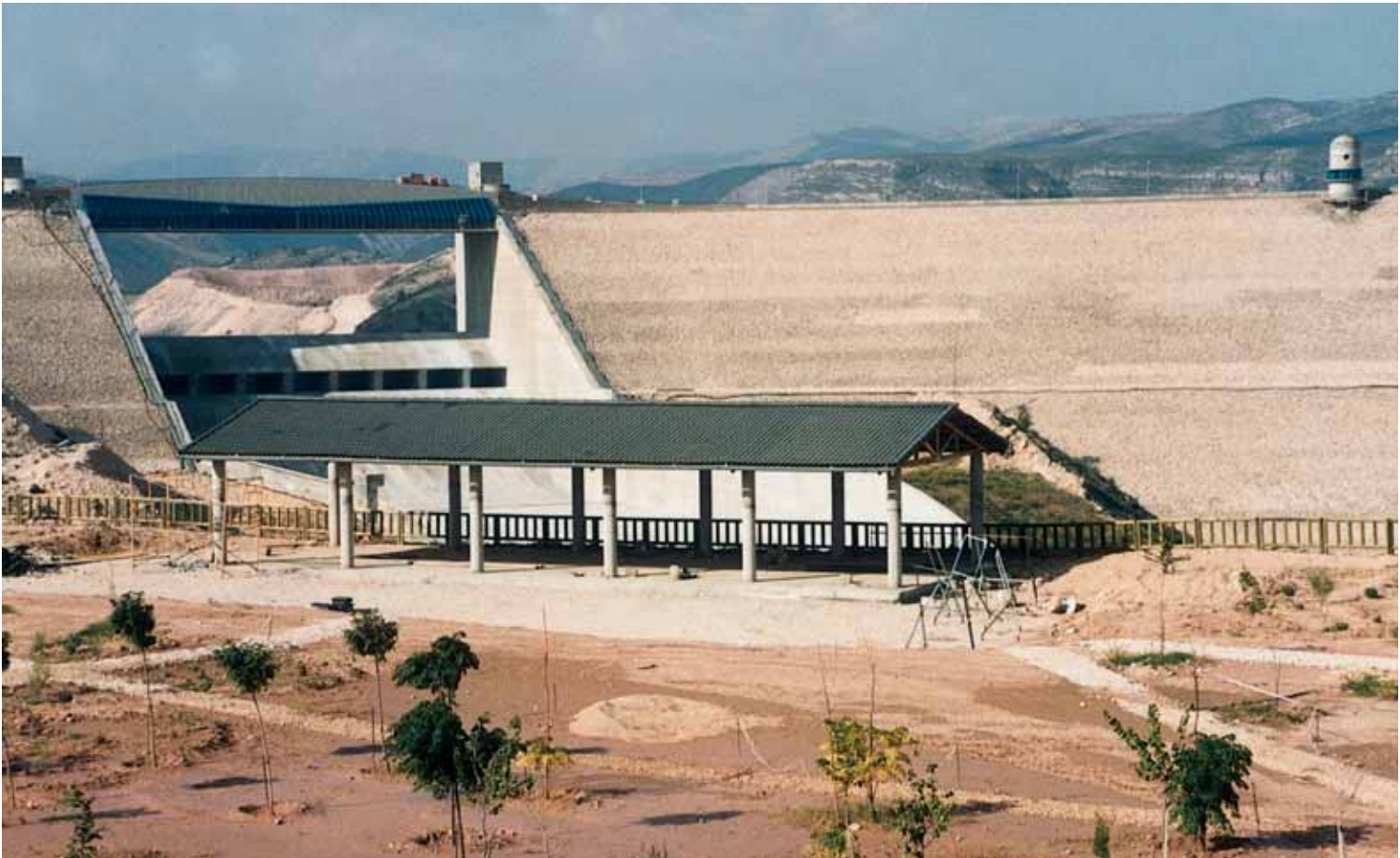


Mirador de Tous

Mirador de Antella

Áreas recreativas

Inicio y desarrollo de la recuperación medioambiental del mirador de Antella





Plataformas cotas 70 y 80 antes y después de la recuperación medioambiental





Desarrollo de la recuperación medioambiental del área recreativa



< Inicio y desarrollo de la recuperación medioambiental del aliviadero y del desagüe intermedio

v Reloj de sol
Zona de picnic en el área recreativa



^ Repoblación con plantas autóctonas.

Protección de las laderas y rebaño de cabra hispánica

< Recuperación medioambiental río abajo

Exterior, sala de descanso y sala de exposición del Centro de Interpretación

El Centro de Interpretación del Júcar

La presa de Tous, como uno de los elementos de referencia en la Confederación Hidrográfica del Júcar, se ha convertido en lugar de visita obligada para quienes desean profundizar en el conocimiento de este río, de su impacto y de las estrechas relaciones con su historia más inmediata. A partir de la puesta en carga de la presa y el comienzo de su explotación, las instalaciones comenzaron a recibir la visita de un público variado: desde escolares de las comarcas colindantes a ingenieros en formación de toda España y desde responsables de la administración pública a regantes o simples interesados por la realidad geográfica, se calcula que unas 100.000 personas han pasado por aquí para conocer de primera mano la infraestructura.

La abultada cifra de visitantes y el interés en general por la presa obligaron a pensar en unas instalaciones capaces, no solo de satisfacer la demanda natural del sitio, sino de incrementarla de modo que se pueda mejorar el conocimiento que, sobre esta infraestructura, tiene la población general.

En este sentido se decidió aprovechar las extraordinarias posibilidades que ofrecía el mirador que cuelga bajo el puente del aliviadero, convirtiéndolo en un Centro de Interpretación del río Júcar. Para ello se comenzó por adecuar el espacio, dotándolo de equipamientos que permitieran condiciones de confortabilidad de los visitantes (como aseos o sistema de aire acondicionado). Simultáneamente, se trabajó en unos contenidos que hicieran posible la interpretación, por parte de los visitantes, de los recursos potenciales que ofrecen tanto el río Júcar en su conjunto como la presa de Tous.

Los contenidos expositivos se presentan en tres salas consecutivas ubicadas en el centro del gran mirador acristalado y que dejan en su perímetro un espacio para la contemplación de los alrededores, tanto aguas arriba como aguas abajo de la presa. Ya en el interior de ese espacio acotado, los materiales se presentan y se distribuyen para que los visitantes, incluso los que tienen diferentes expectativas sobre el lugar y distintos intereses, comprendan en profundidad lo que significa el agua de los ríos en general, la presencia del Júcar y la ubicación de la presa de Tous. El objetivo final es que cada visitante conecte intelectual y emocionalmente con el río, lo aprecie y lo proteja en su propia experiencia diaria.

Toda la información se presenta de modo ameno, en un recorrido en el que se alternan paneles informativos, maquetas (muchas de ellas con posibilidades de interacción que resultan muy didácticas) y breves piezas audiovisuales en las que dos mascotas, Xuq y Barbina, desempeñan el simpático papel de presentadores y conductores a través de diferentes aspectos del Júcar. Xuq es un pequeño *samaruc* o

samarugo típico de las aguas bajas y templadas ya próximas al Mediterráneo mientras que Barbina es un robusto barbo hembra tan propio del curso alto y medio del Júcar.

De la mano de estos dos divertidos personajes, el visitante puede conocer en primer lugar la vida del río Júcar y disfrutar, en esta sala inicial, de diversos contenidos relacionados con el agua dulce, su ciclo, sus usos por parte del hombre y la necesidad de cuidar un recurso tan frágil. Antes de contemplar dos diferentes maquetas que muestran distintas formas de regadío tanto del pasado como del presente (incluyendo las grandes norias de tiempos pretéritos), se puede gozar de una divertida explicación sobre el ciclo natural del agua proyectada sobre una superficie tridimensional: la evaporación, la formación de nubes, la lluvia y la nieve y la formación y el desarrollo de cauces fluviales se hacen realidad ante los ojos del espectador del modo más didáctico posible.

Entrando en la siguiente sala encontramos una fiel reproducción de las cuevas de la Araña de Bicorp, un lugar donde nuestros antepasados del epipaleolítico (hace 12.000 años) supieron aprovechar las ventajas de la proximidad del río Júcar y donde nos dejaron como recuerdo unas maravillosas pinturas rupestres. De este modo se inicia la visita a una sala donde cobran protagonismo la naturaleza en torno a este curso fluvial, los ecosistemas cambiantes a lo largo de sus 500 kilómetros y la conexión entre el Júcar y toda su cuenca hidrológica, incluyendo sus diferentes afluentes y la presencia de distintos embalses. Entre otros materiales, se incluye un audiovisual donde Xuq y Barbina nos acompañan en un maravilloso viaje aéreo, mostrándonos todo el recorrido del Júcar a vista de pájaro.

El último tramo del recorrido se dedica al aprovechamiento humano e industrial del agua dulce en general y al del Júcar en particular. Cuenta esta sala con una gran maqueta de la propia presa que permite, con el apoyo de breves piezas audiovisuales, comprender a la perfección el funcionamiento de esta infraestructura. También dedica distintos recursos al aprovechamiento hidroeléctrico y a todos los esfuerzos que se realizan para devolver a la naturaleza el agua en el mejor estado posible después de su uso mediante las estaciones depuradoras de aguas residuales.

El Centro de Interpretación del Júcar cuenta aún con un pequeño y cómodo auditorio situado al final de este recorrido y destinado a completar el mismo, según el tipo de visitantes, con informaciones adicionales: conferencias u otros formatos presenciales o bien un nuevo audiovisual con un resumen sobre la construcción de la presa.









Vista exterior del centro de interpretación



06

Anexos

En el presente capítulo se presenta un resumen de diferentes estudios realizados sobre la presa. Para más información se puede consultar el libro que, en 1996, editó el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente titulado *La Presa de Tous* cuyo autor es el director de la obra José Luis Utrillas. En esta obra se hace una descripción más amplia de los cálculos utilizados en el proyecto.

06

Anexos

Los cálculos estáticos

Cálculo de estabilidad

La estabilidad de la presa fue objeto de un profundo estudio contrastado por medio de varios cálculos diferenciados. El primero de ellos, incluido en el proyecto de construcción, partió de las características resistentes de los materiales estimadas antes de la construcción de la presa. Posteriormente, la Dirección de Obra consideró oportuno realizar un nuevo cálculo utilizando los datos de resistencia que los materiales iban aportando durante los numerosos ensayos que se realizaron durante la construcción.

Además de estos estudios, se contó con los resultados de la investigación realizada por el CEDEX; fueron unos innovadores ensayos de corte en células de 1 m³ que fueron realizados sobre la escollera caliza. Este segundo cálculo, que se destinó a confirmar la seguridad al deslizamiento del cuerpo de presa con datos del material colocado, está incluido en el *Estudio del comportamiento dinámico de la presa de Tous*, realizado bajo la dirección de José Luís Utrillas.

La estabilidad estática de la presa se estudió en las siguientes situaciones:

- Final de la construcción: taludes de aguas arriba y aguas abajo.
- Embalse lleno: taludes de aguas arriba y aguas abajo con el embalse a las cotas 130, 145 y 162.
- Desembalse rápido desde la cota 130 hasta la cota 80: talud de aguas arriba.

Los cálculos que recogieron los datos de construcción se destinaron a predecir la estabilidad estática y la pseudodinámica. Este último estudio se realizó simulando el sismo mediante unas fuerzas estáticas horizontales equivalentes, de valor 0,10 g.

Calculo tensodeformacional

Para estimar los niveles de tensión en el cuerpo de presa bajo solicitaciones estáticas fueron varios se utilizaron modelos bidimensionales y tridimensionales.

Para el modelo bidimensional se analizó la deformabilidad de los materiales de la presa bajo distintas solicitaciones, resolviéndose las situaciones acerca de los movimientos, tensiones y deformaciones de la presa en diferentes supuestos referidos tanto a las etapas constructivas como a la situación de su explotación. Para simular el comportamiento de los materiales se utilizó un modelo hiperbólico tensión-deformación.

Por lo que respecta al modelo tridimensional, se optó por la utilización de dos tipos diferentes de elementos: por un lado 2.206 elementos de tipo Solid (tridimensionales de 8 nodos) y por otro, 64 elementos tipo Shell (bidimensionales de 4 nodos). Para los cálculos se utilizó un programa desarrollado por el profesor Edward L. Wilson de la Universidad de California en Berkeley que asume una relación elástica entre tensiones y deformaciones.

Cálculo de la torre de acceso

La hipótesis de que la torre se mueve y deforma solidariamente con el cuerpo de presa supone que, para dimensionar sus elementos, se precisa conocer con suficiente aproximación las tensiones y deformaciones en el material de la presa alrededor de la torre. Para ello se acometió un análisis por elementos finitos contemplando distintas situaciones con dos secciones: una perpendicular al eje de presa y otra normal a esta. Para este cálculo se utilizó un modelo elástico-lineal en deformación plana, simulando tanto la construcción de presa como el llenado del embalse por etapas.

Para caracterizar los materiales del cuerpo de presa, los parámetros de deformación teóricos fueron contrastados y calibrados con los datos reales que se iban obteniendo en el proceso de auscultación de la presa a la cota 100.

Modelización contactos núcleo - hormigón

Dada la especial transcendencia y singularidad que para esta presa representan los contactos del núcleo impermeable con los estribos de la antigua, así como con otras estructuras de hormigón contra las que apoya (el desagüe intermedio y el aliviadero), se dedicó una particular atención a su estudio. Al efectuar un análisis numérico, no solo se ha tratado de prever su comportamiento sino también de valorar la incidencia de algunos aspectos constructivos con el fin de verificar la seguridad de la presa frente a una posible fracturación hidráulica.

Los cálculos dinámicos

El primer paso para acometer el cálculo dinámico fue realizar un estudio de las **solicitaciones sísmicas**, determinando tanto los parámetros que caracterizan a los terremotos de comprobación como los espectros y los acelerogramas asociados a cada uno de ellos. En el caso de Tous se contemplaron los siguientes terremotos:

- Terremoto Máximo de Comprobación. Igual al Terremoto Máximo Creíble (TMC), siempre que sus efectos no sean menores que el terremoto de un período de retorno de 1.000 años (TP1.000). La presa o estructuras sometidas al TMC pueden sufrir daños importantes, siempre que no haya desbordamiento catastrófico del embalse ni desorganización general del cuerpo de presa.

- Terremoto Básico de Explotación (TBE). Terremoto con un período de retorno de 150 años (TP150). La presa o estructuras sometidas al TBE deben mantener intacta su funcionalidad, aunque pueden sufrir daños menores, fácilmente reparables.

- Terremoto de Comprobación Estructural (TCE). Terremoto con un período de retorno de 1.000 años (TP1.000). Se aceptan daños en la presa o estructuras siempre que no se produzca su colapso.

Por otro lado y para definir con exactitud la presa y su cimentación, se realizó una **caracterización dinámica de los materiales**, para lo que se realizaron tanto ensayos in situ como ensayos en laboratorio. El objeto principal de estos estudios fue obtener las curvas de diseño dinámico que permitieron conocer cómo varían los módulos de deformación y su amortiguamiento histerético.

Con estos trabajos previos se realizaron cálculos dinámicos simplificados y cálculos dinámicos por elementos finitos.

Las conclusiones referidas al **cuerpo de la presa** fueron las siguientes:

- Los movimientos permanentes que pueden resultar en la coronación de la presa tras un terremoto son estos: movimientos horizontales de hasta unos 30 cm en el TP1 000 y unos 75 cm en el TMC, en cuñas que afectan únicamente a la coronación de la presa, completamente por encima del nivel de embalse de referencia (cota 130).
- Los movimientos horizontales esperables en cuñas que atraviesen al núcleo en todo su ancho a la cota de embalse de referencia (cota 130) son, a lo sumo, de unos 5cm en el TP1000 y pueden alcanzar unos 30 cm en el TMC. Estos valores pueden verse incrementados por efecto de la pérdida de resistencia en el filtro de aguas arriba, que puede licuar en los terremotos de cálculo.
- Los movimientos horizontales previsible en el TP1 000 son moderados o incluso pequeños y se comparan muy favorablemente con el límite propuesto por Seed para ser considerados un problema (90 cm aproximadamente). No comprometerán la seguridad de la presa ni requerirán actuaciones importantes en ella tras este terremoto.
- Los movimientos previsible en el TMC son relativamente grandes, pero se considera que no pondrán en peligro la seguridad de la presa, aunque puedan ser necesarias reparaciones de cierta importancia en la coronación y sus proximidades.
- Si el terremoto moviese la falla de Tous o la de Sumacàrcer, la presa sufriría deformaciones acompañando al movimiento en la zona de falla, pero sería estable. Podrían producirse fugas por el cimientado e incluso un cizallamiento del núcleo, pero no de los filtros por no ser cohesivos.
- El fallamiento de la cerrada podría afectar al aliviadero, especialmente si se mueve la falla de Sumacàrcer. También se podría producir la rotura de alguna galería, pero no afectaría al desagüe intermedio.
- Tanto para el TP 1000 como para el TMC es de esperar que se produzca la licuación del filtro saturado de aguas arriba. No obstante, y dada la pequeña contribución del filtro a la estabilidad resistente de la presa, no influiría de manera decisiva en el daño que pudiera producir el sismo en la misma.

Por lo visto anteriormente, puede concluirse que en ningún caso el terremoto sería capaz de rom-

per la presa, liberar el embalse y crear una avenida de aguas abajo.

Los cálculos destinados a evaluar la afección de un sismo en **las estructuras** arrojaron las siguientes conclusiones:

En el grupo formado por la torre de toma, la pila intermedia y la torre de compuertas se observa que el dimensionamiento y armado de las tres estructuras es correcto y cumple las condiciones definitivas de los dos terremotos de comprobación. En todos los cálculos ejecutados se han obtenido esfuerzos y desplazamientos máximos tales que no comprometen la estabilidad y funcionalidad de las estructuras.

En la pasarela de acceso a torres, el máximo desplazamiento absoluto obtenido en el cálculo ha sido de 24 cm. Por ello se considera que existe una garantía tal que no se producirá una rotura irreparable y que la funcionalidad queda asegurada tras la ocurrencia del terremoto.

En el desagüe intermedio, los cálculos confirman que se mantiene la funcionalidad de la estructura estudiada frente a la acción del TMC.

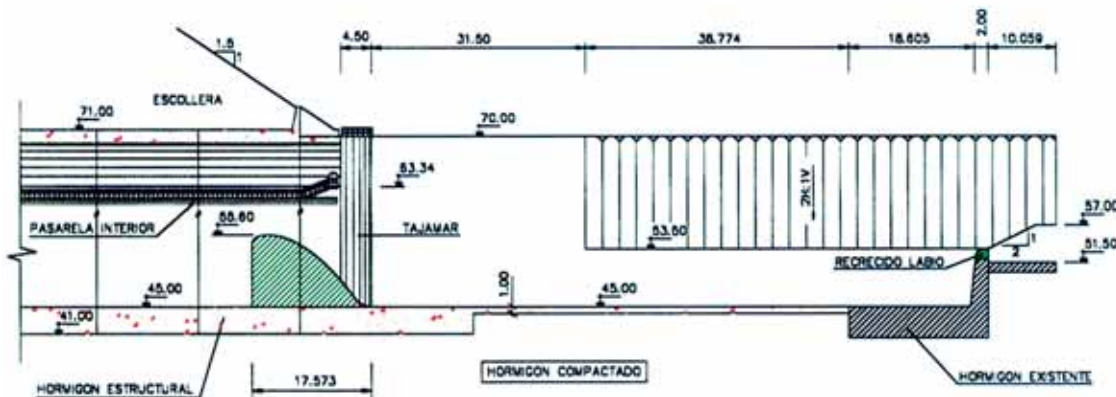
El aliviadero se estudió en sus diferentes apartados. Sobre los muros de embocadura todos los métodos indican que tienen coeficientes de seguridad superiores a los considerados habitualmente como admisibles, lo que garantiza su buen funcionamiento durante la actuación del terremoto de comprobación. Con respecto al puente sobre el aliviadero, hay que indicar que presentó unos cálculos más complejos por su tipología. El resultado de estos estudios fue la toma de estas decisiones: se redimensionaron los elementos de suspensión y anclajes con las sollicitaciones dinámicas establecidas y se coartó la libertad de movimientos de dicha estructura, encastrándola en los apoyos laterales.

Los ensayos en modelo reducido

Estos estudios se realizaron para comprobar el funcionamiento hidráulico de los diferentes órganos de desagüe de la presa.

Desviación del río durante la construcción de las obras

Este primer trabajo se realizó para conseguir que lo que iba a ser el desagüe intermedio, funcionara en la fase inicial como un aliviadero capaz de desaguar en torno a los 5.500 m³/s en caso de avenida. Para comprobar su comportamiento, se efectuó el



Perfil longitudinal por eje conducto de salida del desagüe intermedio
Escala 1:1000

ensayo en modelo reducido en el Laboratorio Nacional de Engenharia Civil de Lisboa.

La institución citada construyó un modelo a escala 1/60 en el que se mostraba la estructura del desagüe intermedio parcialmente ejecutada, según las previsiones del proyecto. El estudio debía emitir conclusiones sobre dos aspectos: en primer lugar si era necesario o no construir estructuras provisionales para mejorar el funcionamiento hidráulico y para aumentar la capacidad de desagüe; en segundo lugar, saber qué efecto tendrían la ejecución de determinadas obras sobre la capacidad de desagüe en esa fase inicial.

Los ensayos ejecutados permitieron comprobar la formación de ciertas perturbaciones en el flujo en la zona de entrada, particularmente junto al cajero izquierdo, pero que no implicaban disminución de la capacidad de desagüe. También aconsejaron realizar diferentes modificaciones que, una vez consideradas, lograban que esta estructura parcialmente construida funcionara de forma totalmente correcta incluso para caudales de desagüe más elevados de los previstos.

Aliviadero

El ensayo, que se realizó en el CEDEX, debía analizar estos elementos:

- En la obra de embocadura, venía determinada la curva de niveles de embalse-caudales de descarga.
- En el canal de descarga se precisaba un análisis de los fenómenos ondulatorios, un estudio de las

necesidades de aireación y la obtención del perfil correspondiente al máximo caudal de descarga.

- En la obra de reincorporación al cauce era preciso confirmar el funcionamiento del trampolín, las condiciones de lanzamiento, las erosiones en el cauce y la sensibilidad del comportamiento hidráulico del aliviadero frente a posibles variaciones de niveles del río.

El modelo reducido, que se construyó a escala 1/80, se puso a prueba con una extensa gama de caudales, detectándose algunos problemas en el diseño original, lo que provocó varias correcciones que fueron llevadas a la práctica.

Desagüe intermedio

En este caso, el ensayo en modelo reducido se realizó en el Laboratorio Nacional de Engenharia Civil de Lisboa y, debido a las especiales características de este desagüe, se construyeron dos modelos, uno a escala 1/60 para estudiar todo el desagüe y otro a escala 1/30 para analizar los conductos.

Aliviadero y desagüe intermedio en funcionamiento conjunto

Una vez optimizados por separado el funcionamiento hidráulico del aliviadero y el desagüe intermedio, se consideró conveniente realizar un estudio del funcionamiento conjunto, pese a que durante la explotación de la presa no está previsto que esto pueda suceder.

Este nuevo ensayo se realizó en el CEDEX con los

modelos a escala 1/80 utilizados previamente y, desde los primeros ensayos, se detectó que para el adecuado funcionamiento de los desagües tenían una importancia esencial los niveles a pie de presa.

En efecto, se comprobó que, para caudales inferiores a 2.500 m³/s, el control de niveles a la salida de los túneles se encontraba en la sección del cauce inmediatamente aguas abajo del desagüe intermedio, con cota teórica 57,00. Para caudales superiores, en cambio, se verificó que el amortiguamiento de energía era bueno y que el chorro producido por el trampolín de lanzamiento del aliviadero no afectaba al funcionamiento del desagüe intermedio. A pesar de ello, podían producirse riesgos de cavitación en la zona de los dientes de rotura de energía, pues el resalto se barría hacia aguas abajo, máxime si por efecto de erosiones se variaba la cota de la sección del cauce de la teórica prevista.

Por todo ello se propusieron y definieron unos azudes en su zona final que alcanzarían la cota 55,60 y que conseguirían eliminar los desplazamientos del resalto. También se estudió el recrecido del labio del vertedero del antiguo aliviadero a la cota 53,50,

al objeto de facilitar el agotamiento del cuenco y permitir su inspección, comprobándose que no afectaba al funcionamiento del desagüe. Estas propuestas han sido ejecutadas recientemente en las obras de terminación de la presa.

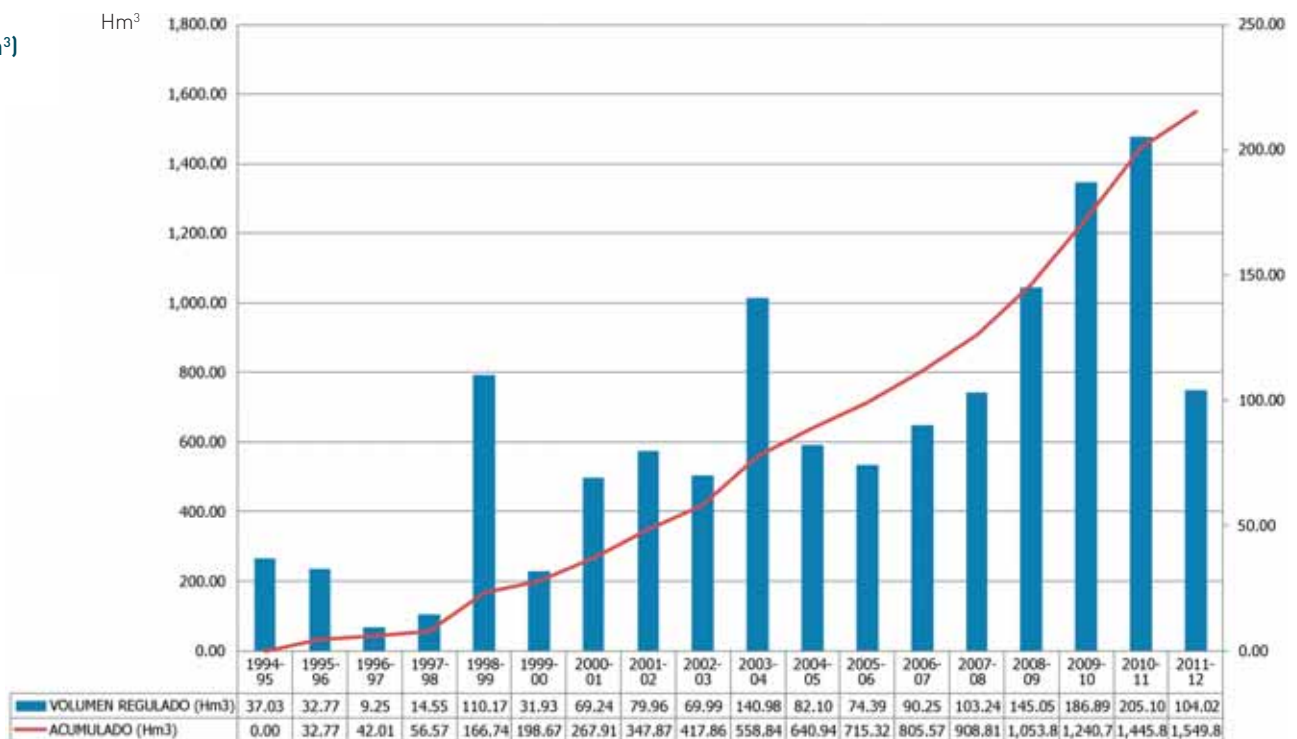
Toma de agua. Disipación de energía. Válvulas Howell-Bunger.

La conducción de toma, desde el embalse, descarga en un estanque de regulación mediante tres conductos de 1.500 mm de diámetro controlados por válvulas Howell-Bunger que funcionan sumergidas, descargando en un cuenco amortiguador de energía.

El proyecto de construcción preveía la disposición de dos válvulas, pero realizada la comprobación de cálculo con diferentes hipótesis de funcionamiento, se observó la necesidad de introducir una válvula más para garantizar el suministro en caso de posible avería de cualquiera de ellas y con cualquier nivel de embalse.

También se discutió la viabilidad de que los deflectores que se iban a disponer fuesen cónicos o cilíndricos. Por ello, y ante la necesidad de ve-

Volumen regulado embalse de Tous (Hm³)



rificar el correcto funcionamiento del sistema, se consideró conveniente la realización de ensayos en modelo reducido.

Tras diversas pruebas se concluyeron como modificaciones fundamentales las siguientes:

- Disponer un cuenco amortiguador de energía de 24 m de longitud.
- Variar la geometría de los muros separadores a la salida de válvulas: debían modificarse tanto en longitud, para disponer ataguías, como en altura, para evitar que, debido a las oscilaciones de nivel de agua, esta pasase por encima de dichos muros.
- Introducir losas deflectoras de flujo cerca del techo de los cuencos amortiguadores.
- Eliminar aletas en los deflectores.
- Introducir tres conductos de aireación por deflector con toma de aire desde el exterior.

Con todo ello se consiguió un correcto funcionamiento del sistema estableciéndose como limitación que cuando el estanque de regulación esté vacío o con nivel de agua muy bajo, deberá procederse, siempre que sea posible, a su llenado con pequeños caudales. En el capítulo 5, dentro de la

sección dedicada a los cambios en el estanque de regulación, se describe el problema surgido en las válvulas Howell-Bunger (vibraciones de gran magnitud) y la solución aportada mediante un deflector cilíndrico, construido a partir del modelo reducido, que sustituye al original, cónico.

El volumen regulado por Tous

Estamos diciendo de forma permanente que el objetivo de la presa de Tous es la laminación de avenidas. No obstante, desde la misma se suministra agua para abastecimiento humano de Valencia, su área metropolitana y Sagunto, y para el riego de más de 50.000 hectáreas de cultivo.

A estas necesidades de agua para abastecimiento y riego la presa de Tous está contribuyendo gracias a la regulación que es capaz de llevar a cabo. Desde el año 1994 en el que se cerró el túnel del desvío y la presa entró en explotación, se han regulado caudales que han supuesto un incremento de reservas del orden de 1.500 Hm³, con un valor máximo en un año de 200 Hm³, esto supone más que el volumen embalsado en estos momentos, abril 2013, entre los embalses de Alarcón, Contreras y Tous.

agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento a Dragados y Ferrovial-Agroman, las empresas que se ocuparon de la construcción de la presa y que también han llevado a cabo las obras de terminación. Mi felicitación por la magnífica labor llevada a cabo.

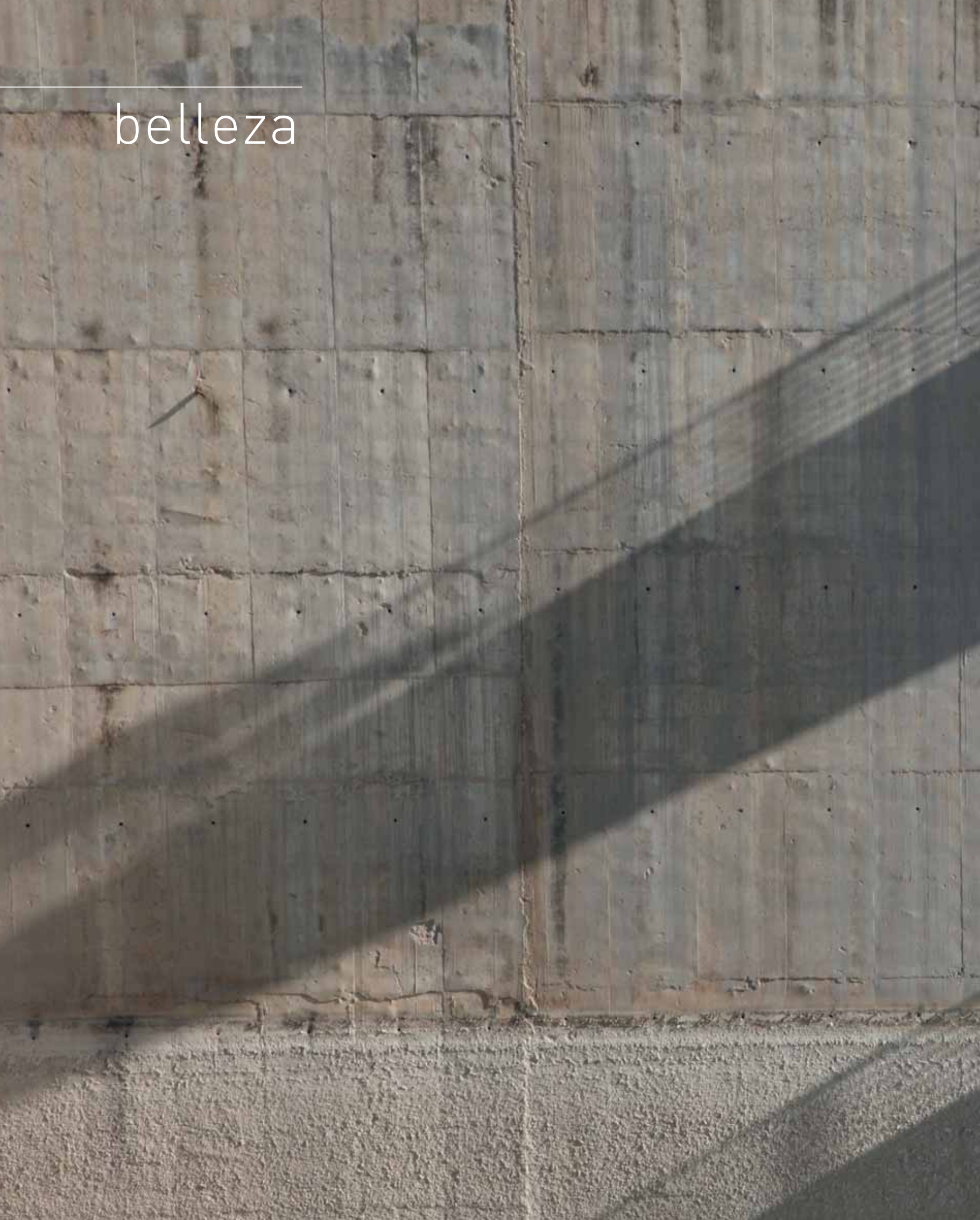
También quiero dejar constancia de mi reconocimiento a quienes trabajaron hace veinte años en la construcción de la obra que describimos en este libro: Victorino Delgado, Jorge Pacciarotti, José Luis Melgar, Luís R. Fernández, Juan Luís Blanco, Antonio Soriano y Ángel Gamo, pues sin ellos hubiera sido imposible hacerla realidad. Y debo nombrar también a quienes ahora se han ocupado de las obras de terminación: a José Valero, no solo por su eficaz ayuda en estas tareas, sino especialmente por su labor de mantenimiento y explotación de la presa. A él y a la empresa MS Ingenieros, en las personas de Francisco Javier Sopeña, David Armas, Luis Oliete y Enrique Boix, mi reconocimiento por estos nuevos trabajos y por hacer posible el nacimiento de este nuevo libro.

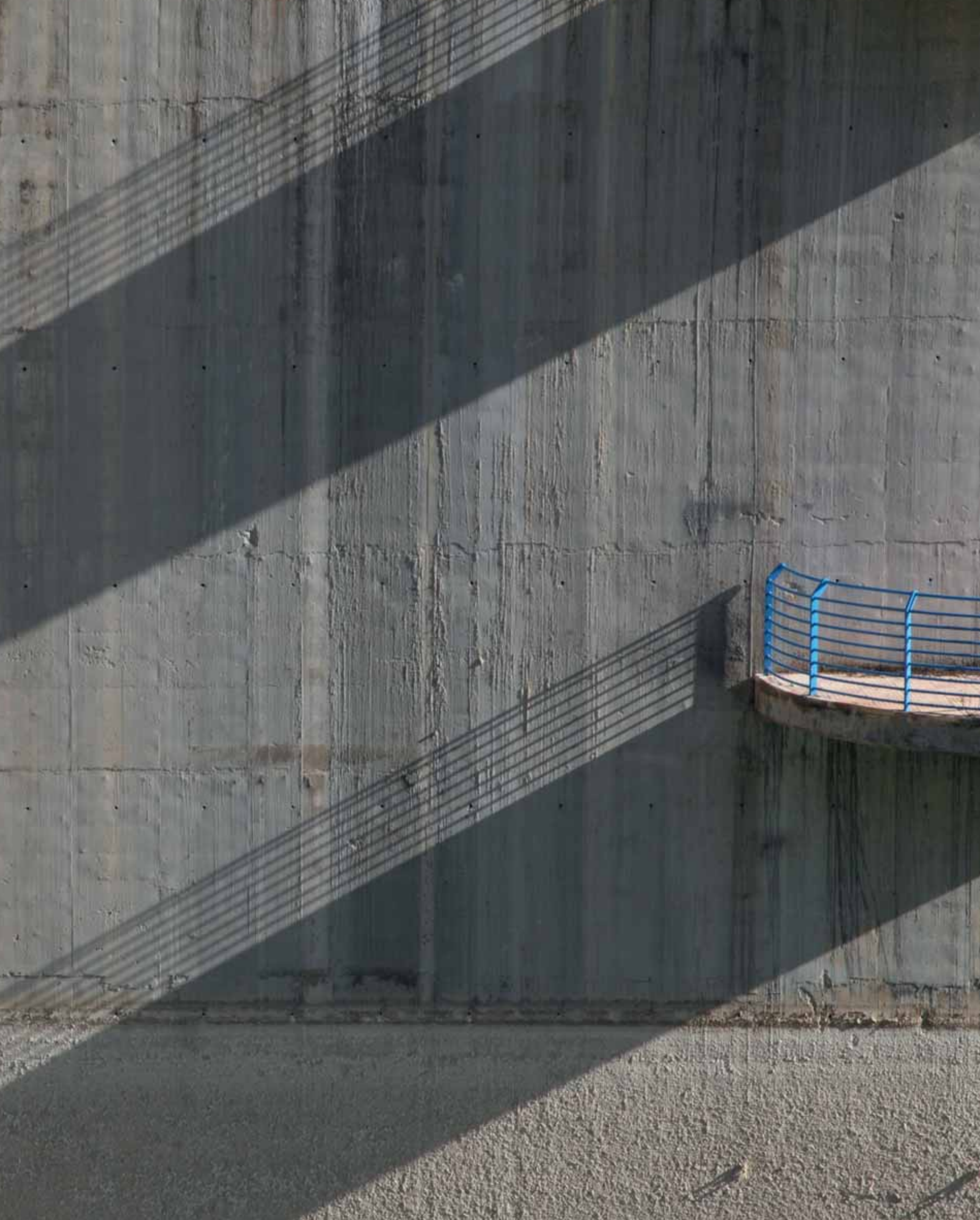
Finalmente, quiero reconocer la colaboración de Concha Baeza y Soledad Torija en esta publicación destinada a describir las obras y el funcionamiento de la presa de Tous. Ellas han redactado el capítulo I de este libro y han contribuido a dar un aire de modernidad a un texto técnico que quiere acercarse al lector con su cara más amable.

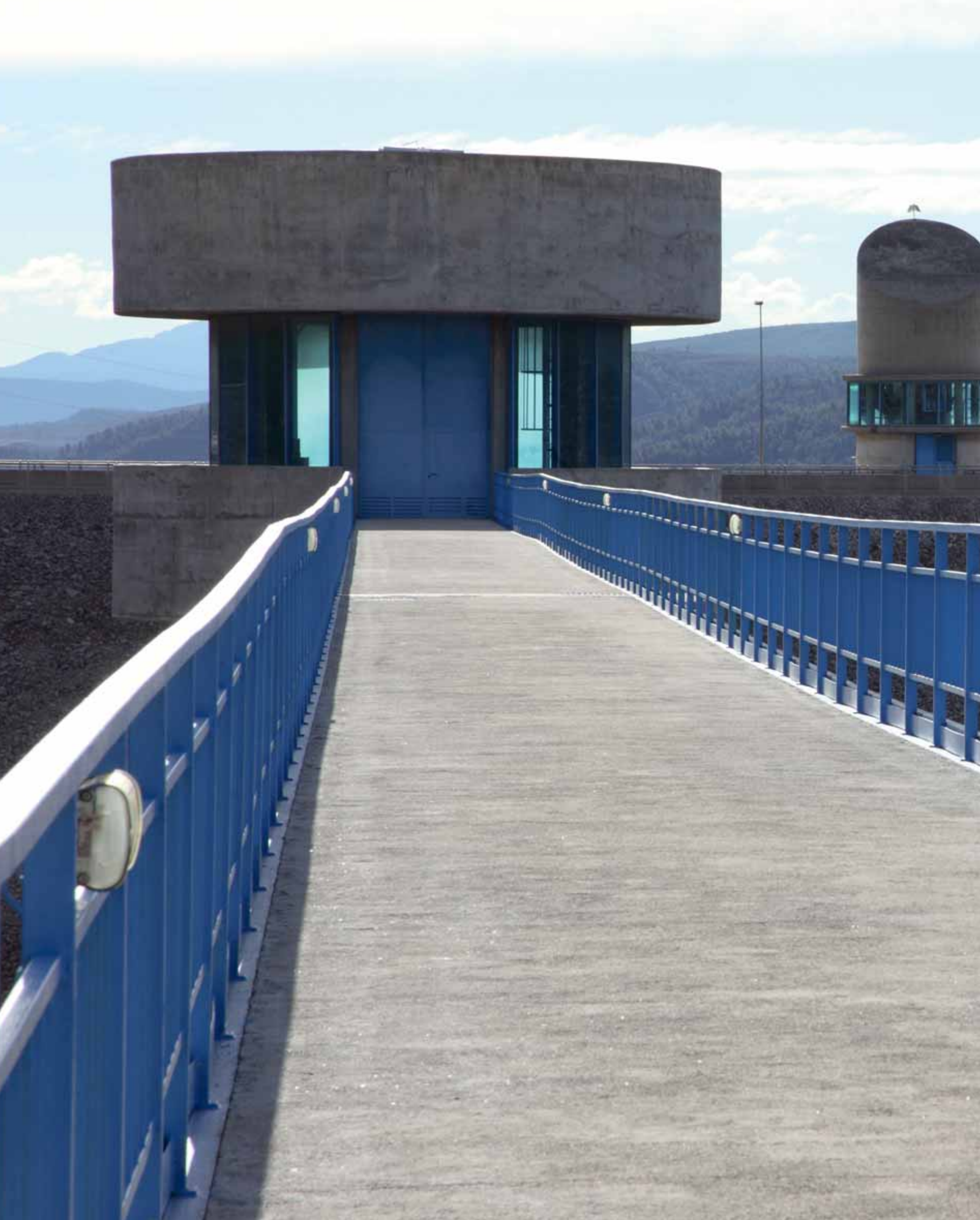
A los colaboradores de hace veinte años y a los de ahora, sinceramente, muchas gracias.

José Luis Utrillas

belleza







planificación







desarrollo











GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL JÚCAR