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-Turia, 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 la 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.

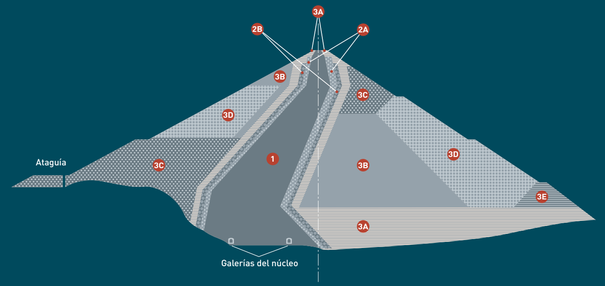
ACTUAL PRESA DE TOUS

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	≥ 105-98%	30 cm
2A	Filtro fino	Arenas	Dr ≥ 70%	25 cm
2B	Filtro grueso	Gravas	Dr ≥ 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



río Júcar

río Escalona

Camino de Navarrés y presa de Escalona

dirección Tous

Canal Júcar-Túria

dirección Antella

río Júcar

La Presa de Tous

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 m^3/s o de 125 horas con caudal de 100 m^3/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/ m^3 para los conglomerados y 400 l/m^3 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 batimetría 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 m^3 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 cimiento, 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

Trabajos en el cuerpo de presa, 1992

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 puntas 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 utiliza dos en la construcción. Después de fabricados eran colocados en tajo mediante una extendedora 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

Vista general del aliviadero con las losas prolongadas

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 Hm^3. 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 lamina-ción 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 m^3/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 m^3/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 tiene 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 ambas 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.

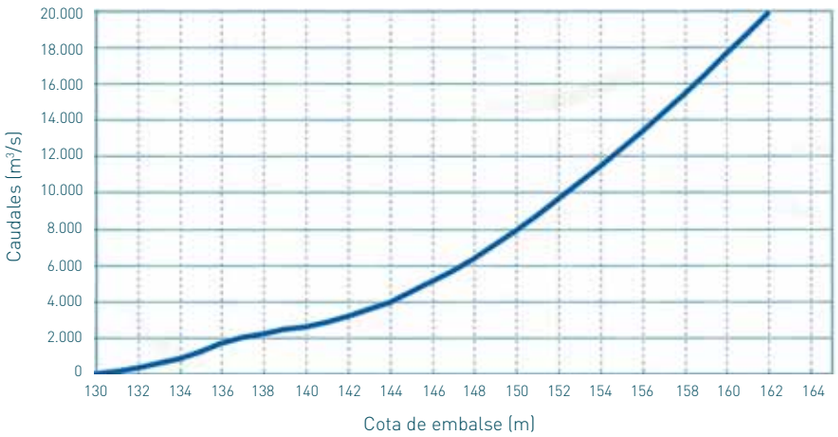
El trampolín se ha diseñado para que consiga láminas de agua bien aireadas gracias a tres elementos: el peralte de la arista de salida, su estrechamiento y el giro del cajero derecho, lo que voltea y aleja los impactos del chorro de la ladera derecha y los dirige directamente hacia el cauce del río.

El alcance máximo del lanzamiento es de 40 m para un caudal de 1.100 m^3 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 m^3 de roca excavados. El volumen de excavación máximo conseguido en un mes fue de 220.000 m^3.

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 m^3, al sitio de colocación. A lo largo de la construcción del aliviadero se llegaron a utilizar tres grúas torres simultáneamente, alcanzándose una producción máxima mensual de 42.000 m^3.

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.

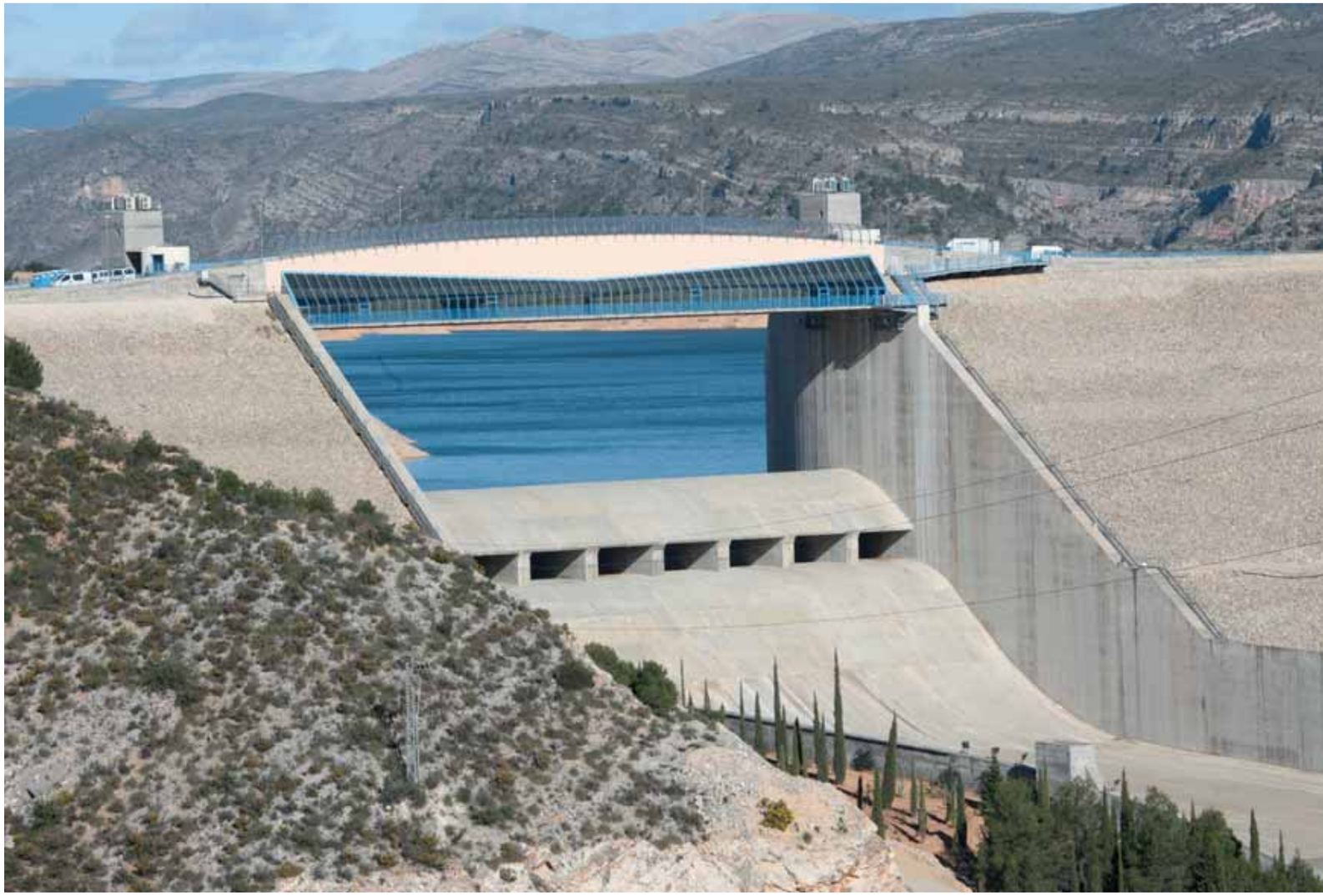
En agosto de 1993 se completó la 1ª fase de construcción, lo que representaba tener prácticamente el aliviadero terminado, excepto la estructura de control que se dejó a la cota 120 a efectos de poder evacuar posibles avenidas durante los meses de septiembre a noviembre.

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 m^3 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

vObra 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.

Una singular pasarela colgante

Distintas vistas de la pasarela y centro de interpretación

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 ambas 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.

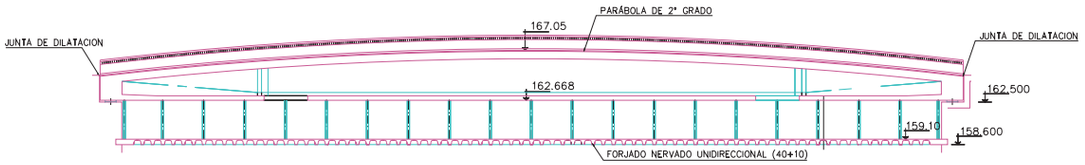
La pasarela se complementa con dos estructuras anexas adosadas a los muros del aliviadero, las cuales permiten el acceso al interior desde las explanadas adyacentes a la coronación de presa en la cota 164,50.

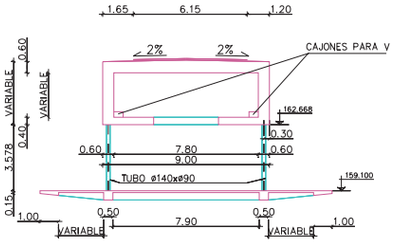
Las estructuras de hormigón armado, si bien están construidas sobre el relleno de presa, no apoyan sobre él, sino que son solidarias a los muros del aliviadero mediante 4 bataches de hormigón de 0,80 m de anchura, anclados a dichos muros, sobre los que descansa la losa inferior de 0,40 m de espesor,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

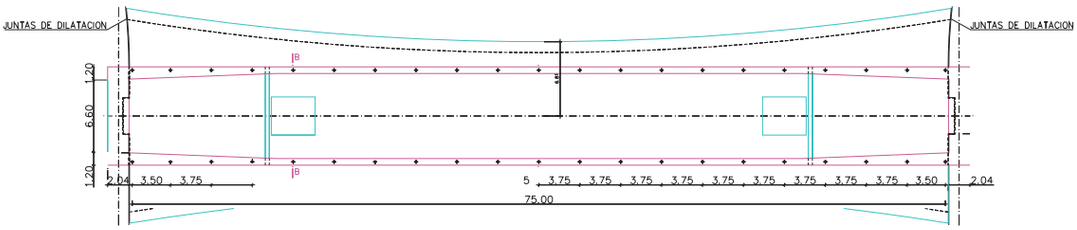
Toda la estructura anexa queda inmersa en el cuerpo de presa, salvo la zona de acceso que emerge en forma cilíndrica hasta la cota 167,51. Debido a que también se sitúa sobre el núcleo, la arcilla puede tener un efecto de cierto "descuelgue", por lo que para prevenirlo se han dejado unos taladros en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

Se señala finalmente que esta estructura singular, con una superficie construida de unos 1.100 m^2, 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 perfilería 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.

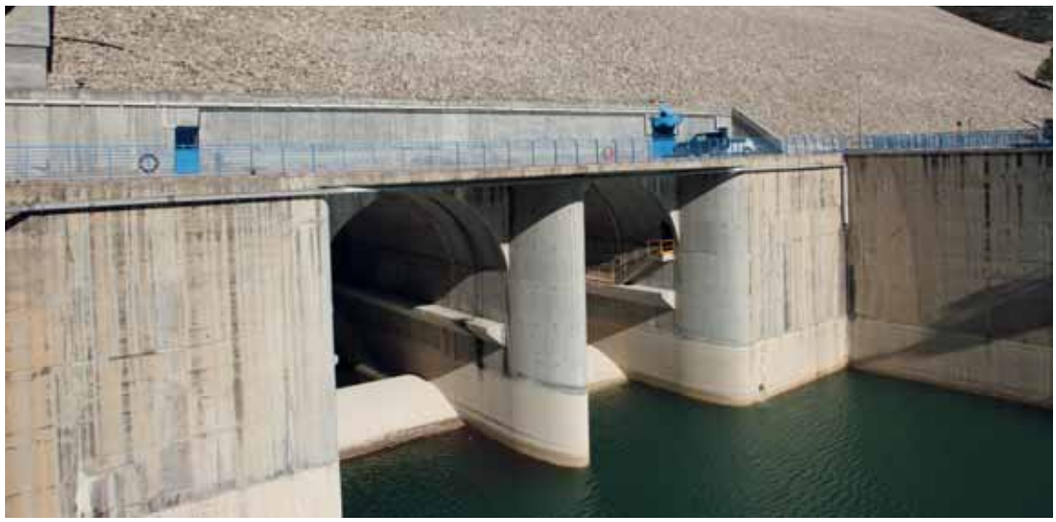
Situado sobre la estructura de lo que fue el aliviadero de la antigua presa (del que aprovecha en parte su cimentación), el desagüe intermedio permite desaguar 1.200 m^3/s antes de que comience a descargar el aliviadero de labio fijo. Resumidas, estas son sus finalidades:

- 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.

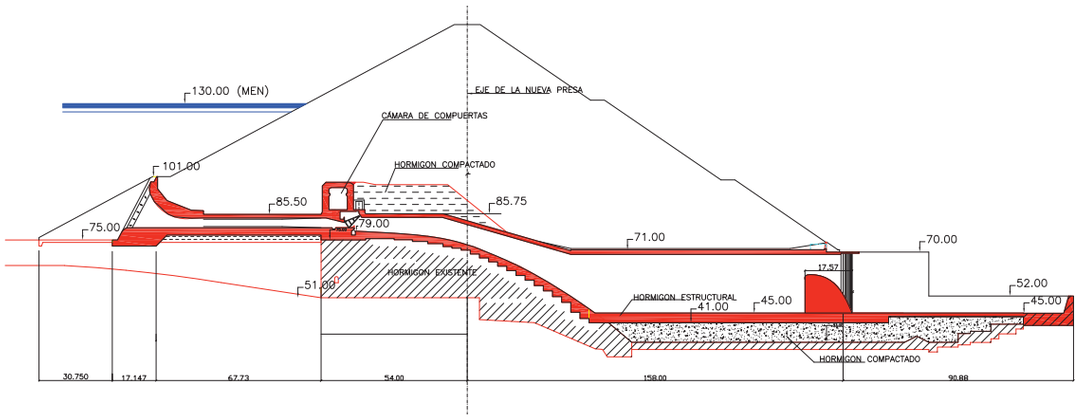
En el centro neurálgico de la presa: la obra civil

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

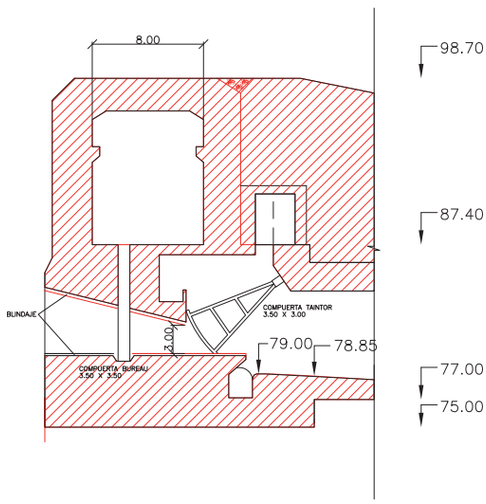


Desagüe intermedio
Sección longitudinal

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.

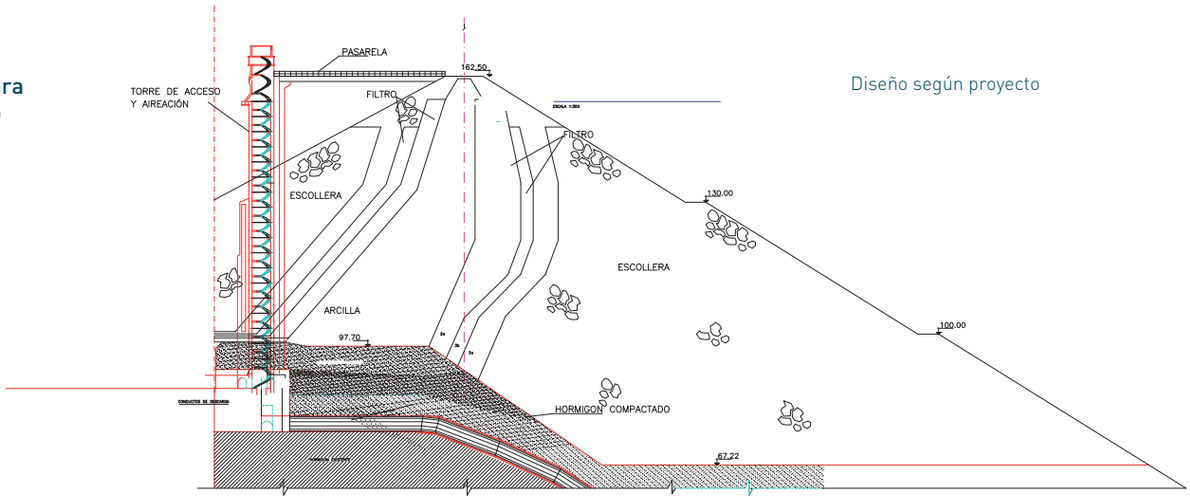
A continuación, la **cámara de compuertas** se apoya en el macizo de hormigón del aliviadero de la presa antigua y en ella se han dispuesto los cierres de control y seguridad del desagüe. Los cierres de



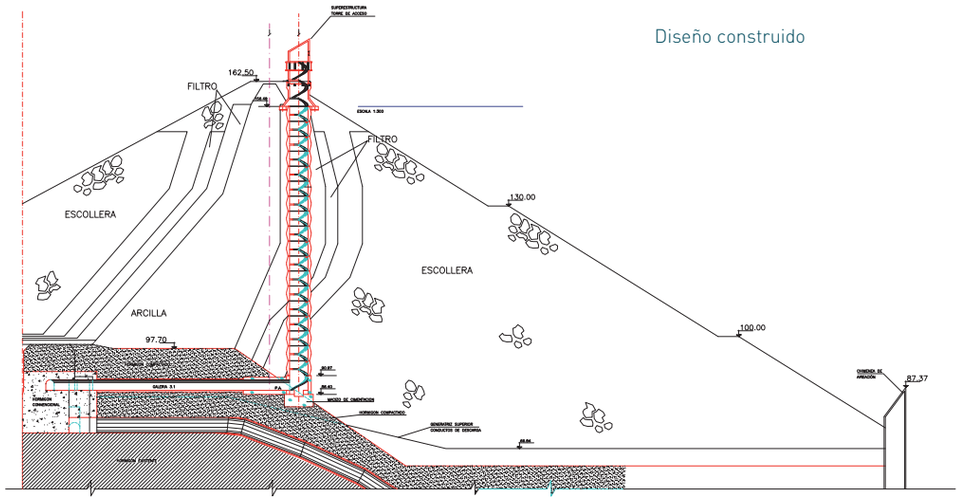
Cámara de compuerta del desagüe intermedio
Sección

Torre de acceso a cámara del desagüe intermedio

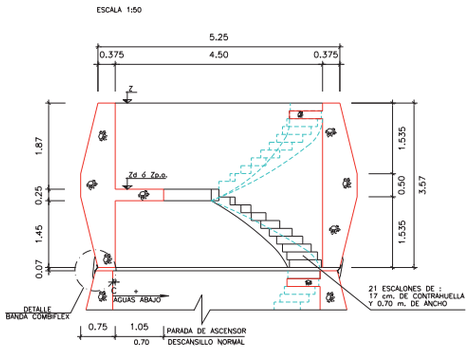
Diseño según proyecto



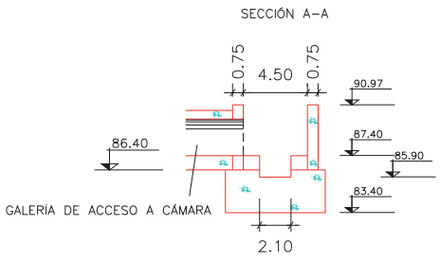
Diseño construido



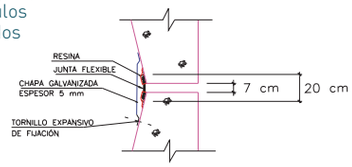
Torre de acceso. Módulo tipo

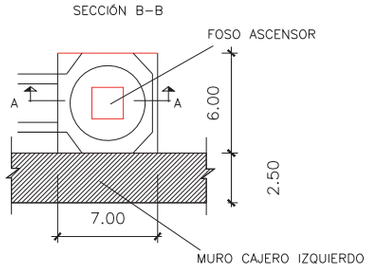


Torre de acceso. Estructura de cimentación



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 m^2.

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:

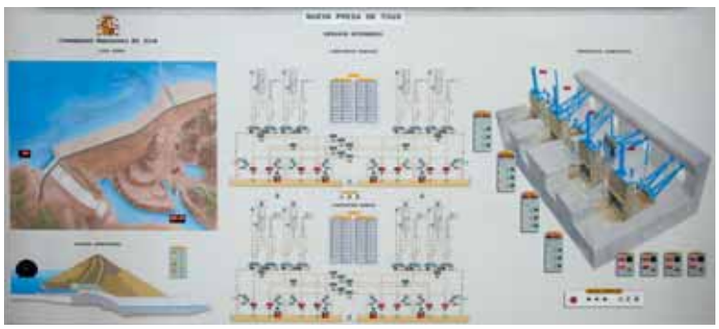
Cuatro compuertas deslizantes de seguridad, tipo Bureau, de 3,50 x 3,50 m, incluyendo sistema de aireación y by-pass, que permiten la regulación con alturas superiores a 100 m. La tajadera de la compuerta pesa 9,6 Tn y es accionada mediante servomotor.

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.

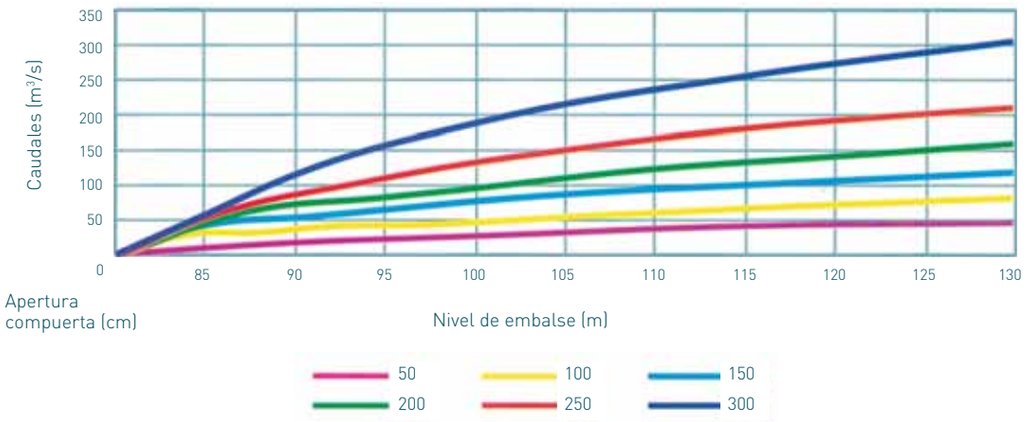
Un cuadro sinóptico permite el mando, control y señalización de todo el equipamiento del desagüe intermedio. El conjunto se completa con un puente grúa birrail, un polipasto ubicado en la galería de acceso a cámara de válvulas por la margen izquierda, cuatro bocas de hombre para acceder al balcón de 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 (m^3/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.

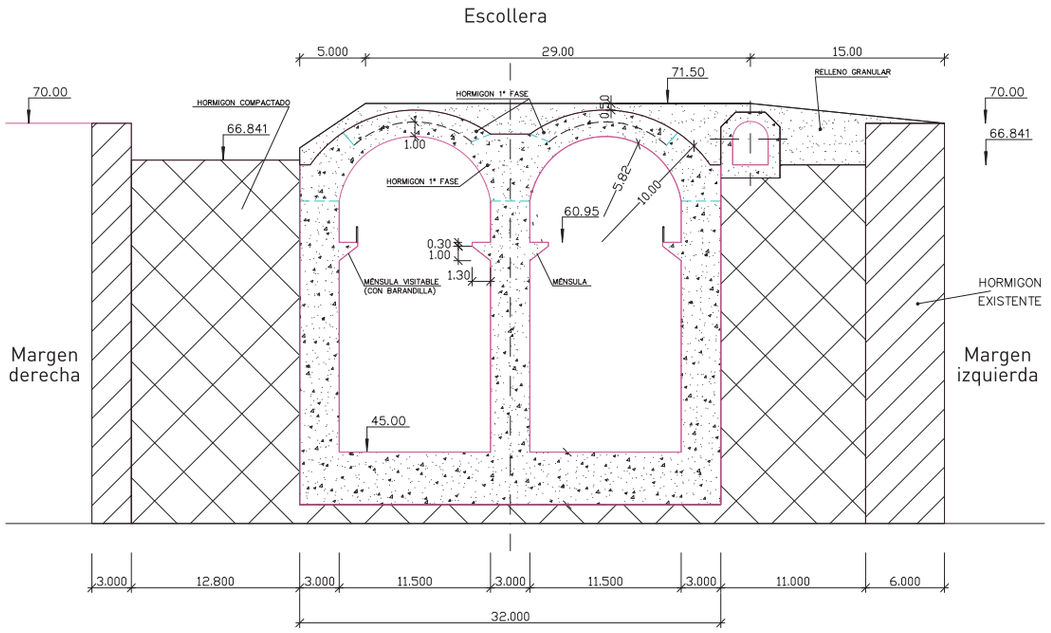
Los trabajos se iniciaron en la segunda mitad de 1990, con la demolición de aquellas estructuras no necesarias o que debían ser reconstruidas para adaptarlas al nuevo diseño del desagüe. Es el caso de las pilas centrales, donde se ubicaban las compuertas y los restos existentes del cajero izquierdo. 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 3.400m^3 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 5.500m^3/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 m^3 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 m^3 de hormigón, de los cuales 180.000 m^3 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.

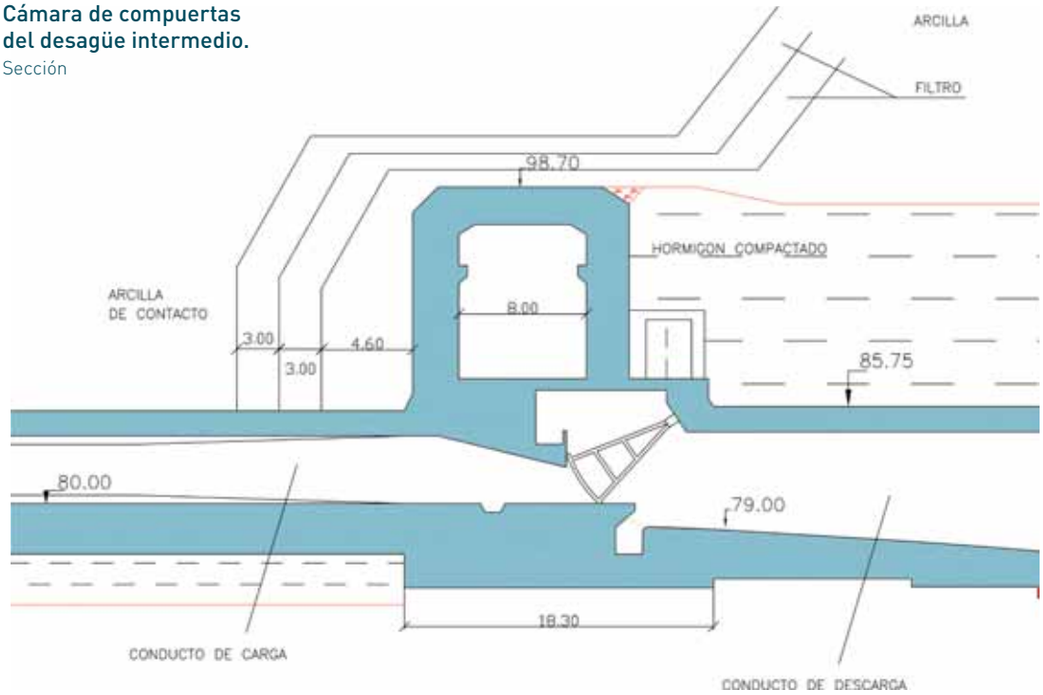
Un punto crítico: los conductos de descarga

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 alzan 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 riegos 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.

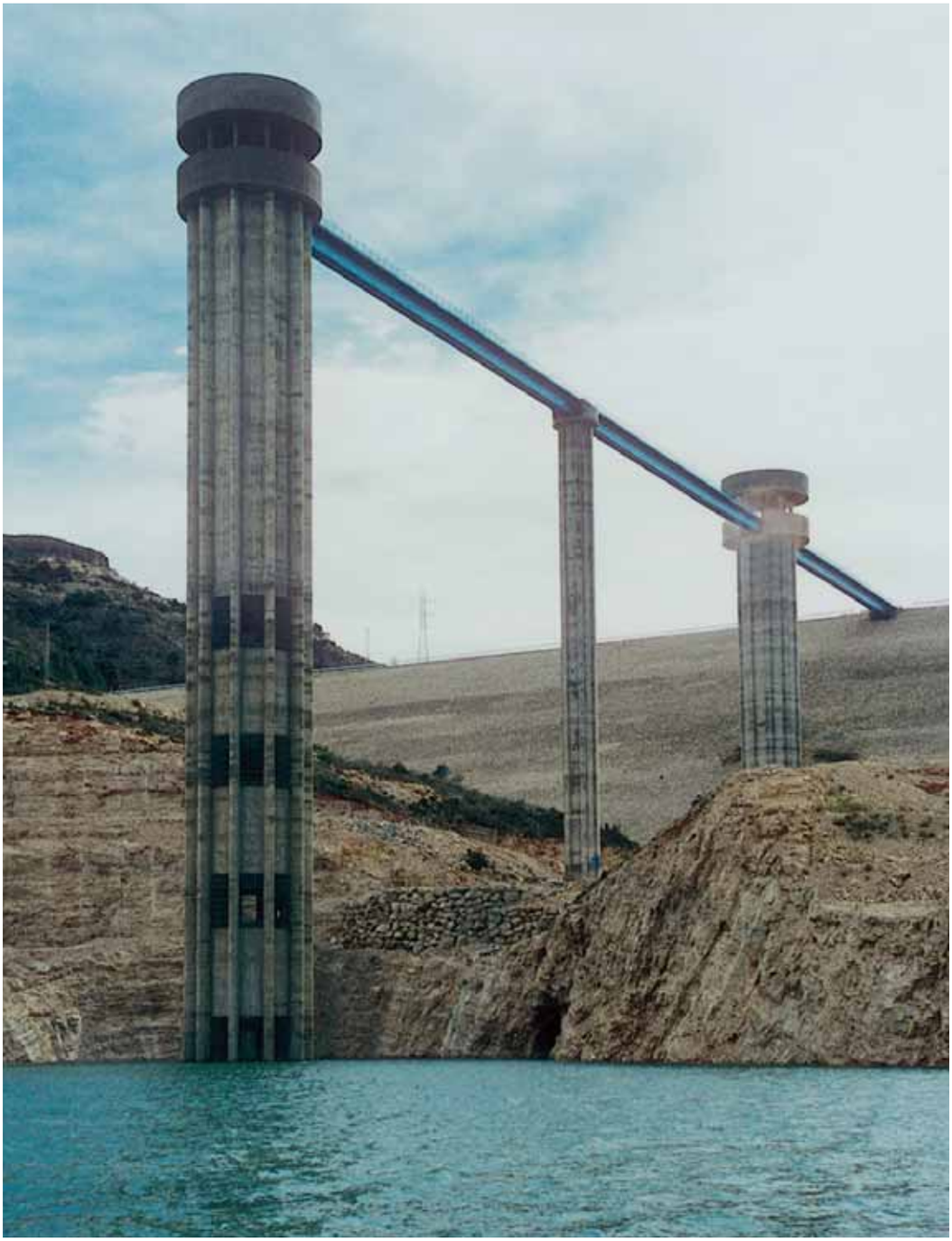
La ubicación de todo el sistema, en la margen izquierda de la presa, respondía a la necesidad de enlazar directamente y con la menor longitud posible con el Canal Júcar-Turia, ya construido. Además se pudo verificar que, en esa zona, las condiciones de cimentación para las torres que era preciso construir 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



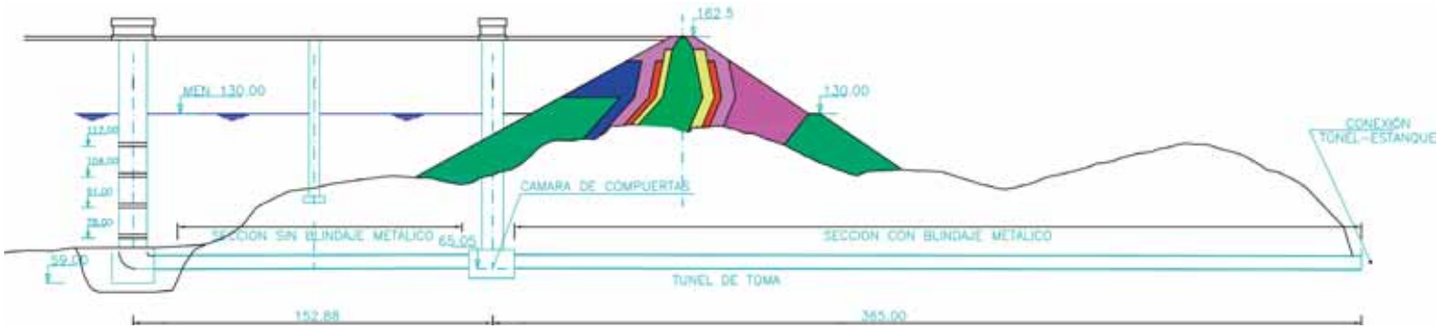
Vista de la torre de toma y pila intermendia desde el embalse

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 rejas 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 formada por un cilindro de 6,5 m de diámetro exterior y 4,3 m de altura construidos 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

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-estanque 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 despegues 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.

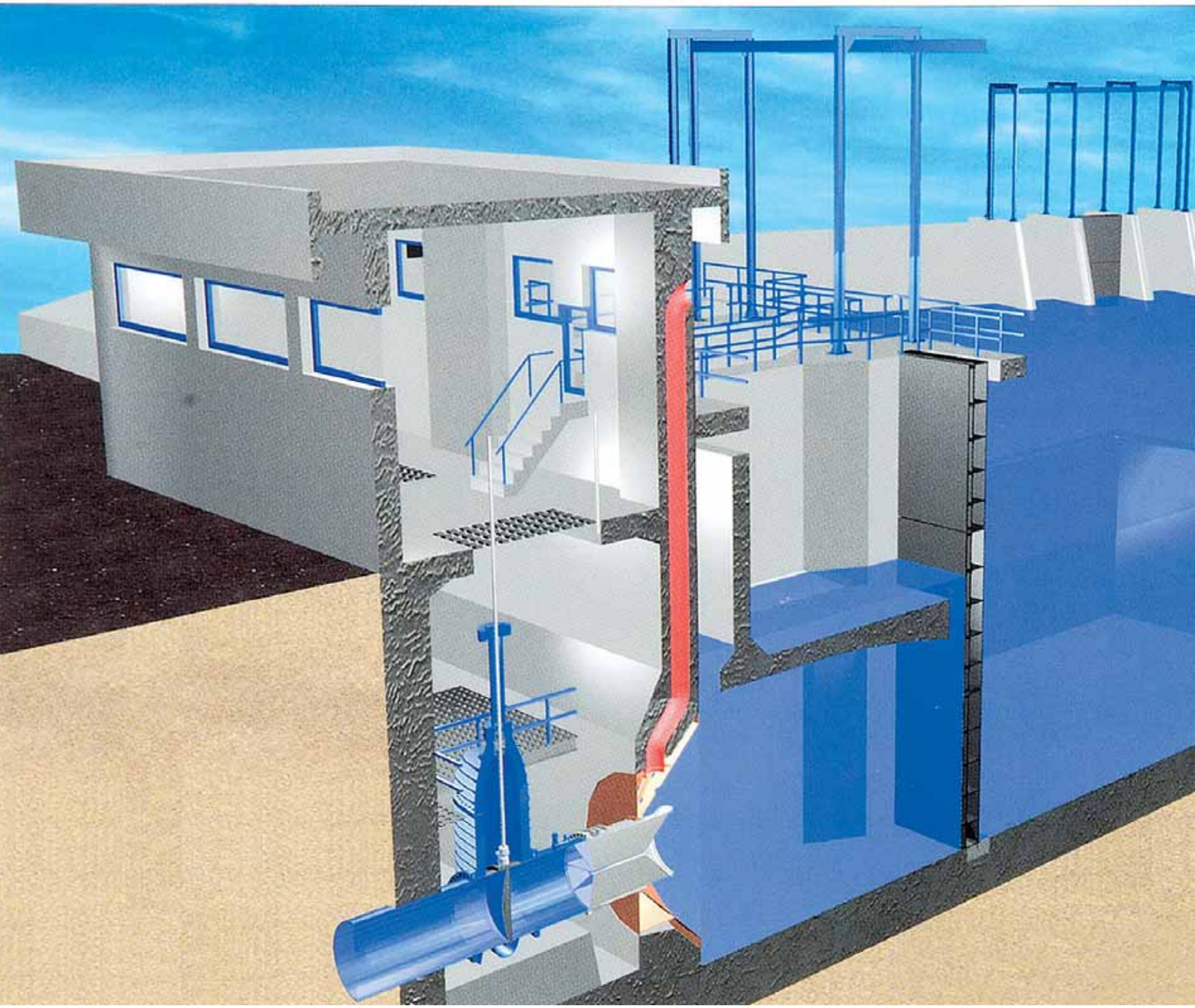
Todo el equipo eléctrico para el mando, control y señalización se ubica en el cuadro sinóptico instalado en el nivel superior de la casa de válvulas. Desde este cuadro, además del control de las válvulas Howell y válvulas de compuerta, también se efectúan las maniobras de apertura y cierre de las compuertas 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.

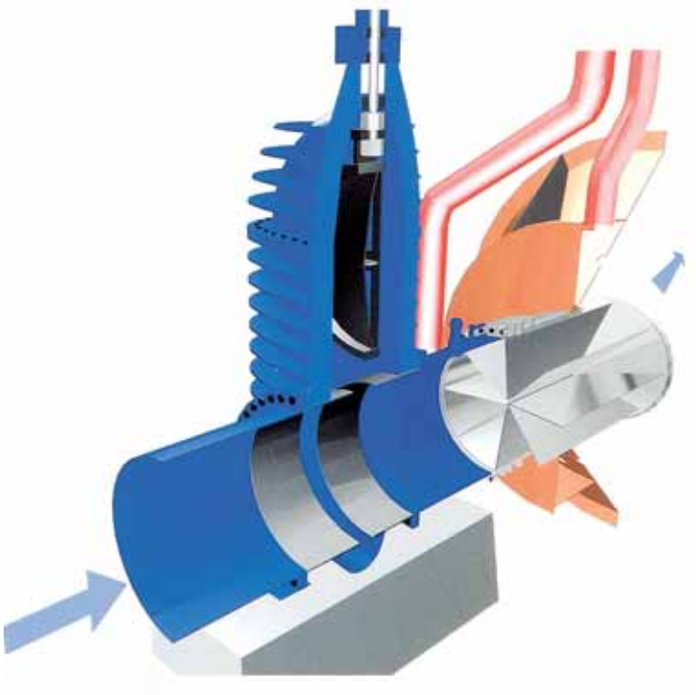
NUEVA PRESA DE TOUS

ESTANQUE DE REGULACIÓN



Toma de agua. Equipos hidromecánicos

Trifurcación



Conjunto de Válvula Compuerta y Howell Bunger

^ Cuenco de salida del estanque de regulación

< Estanque de regulación en construcción

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 m^3/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 89,5m^3/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 partidor 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.

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 m^3/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.

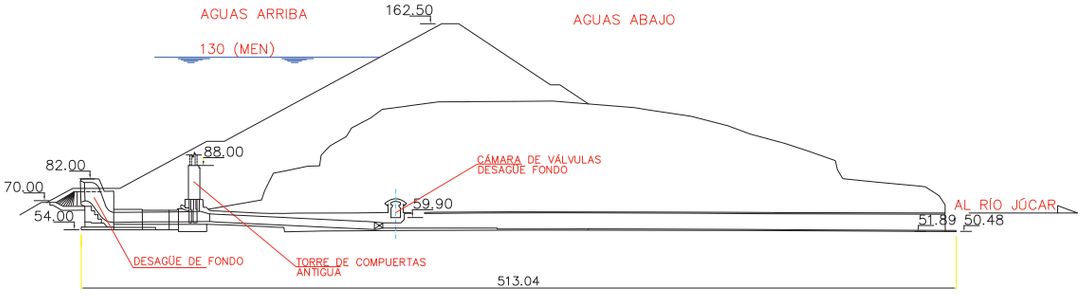
El desagüe de fondo de la actual presa, ubicado en la margen izquierda, utiliza en gran parte las obras ya construidas para el desagüe de fondo de la obra antigua. El desagüe se inicia con una embocadura que, seguida de un túnel, llega hasta una cámara de compuertas; a partir de ella encontramos un nuevo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

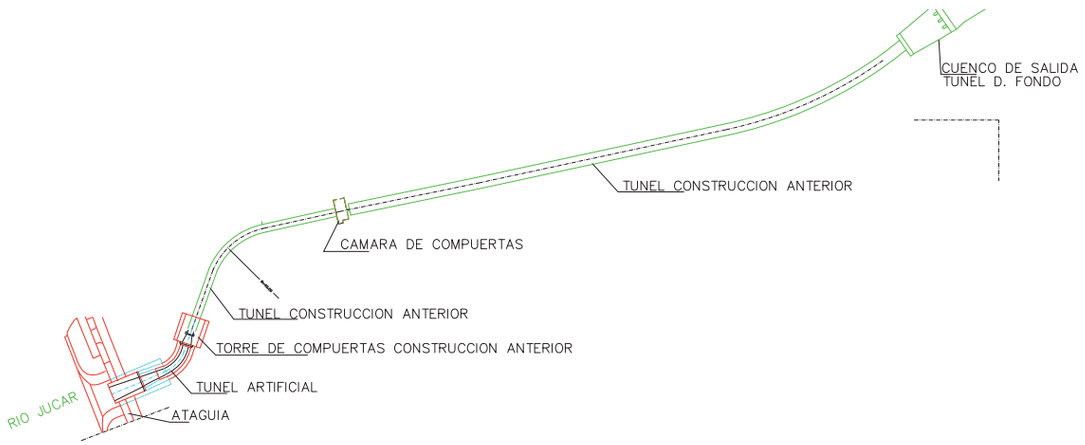
El último desagüe

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 acarreos 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 solera, 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 trapecial, 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 acarreos 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 asientos, 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 acarreos 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 izquierda

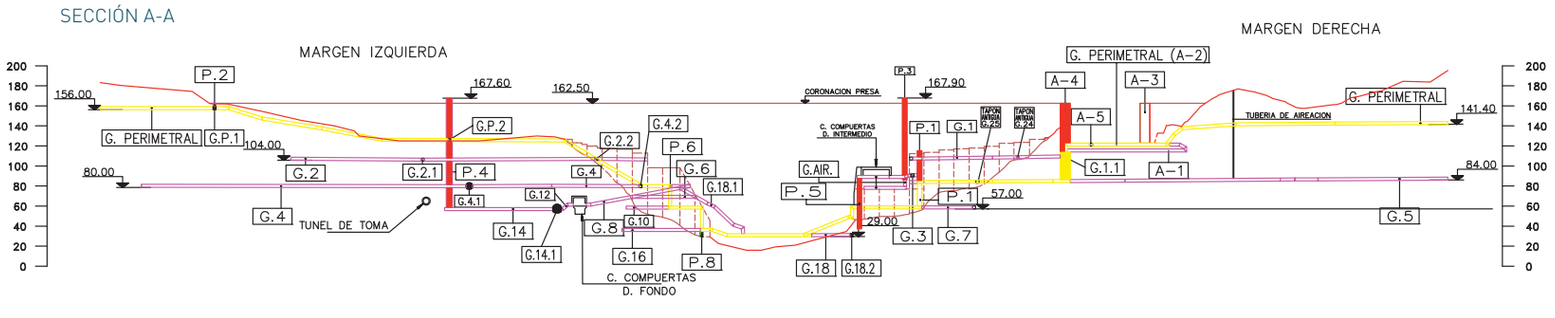
La red de galerías existente en esta margen se distribuye en tres niveles principales a las cotas 57, 80 y 104, con sus correspondientes galerías transversales de acceso y pozos de unión entre ellas.

Parte de estas galerías aprovechan las existentes de los antiguos bloques, prolongándose hacia la margen izquierda, con longitudes variables, introduciéndose en la ladera y ampliando su sección. El motivo de este aumento de longitud ha sido debido a la necesidad de ampliar y reforzar la pantalla de inyecciones para conseguir una mayor estanqueidad en toda la zona del estribo y a la vez servir como referencia de investigación y reconocimiento de la falla de Tous.

Como ya se ha hecho referencia anteriormente, existen varios pozos que interconectan los diferentes niveles de galerías, siendo el principal de ellos el pozo P-4 (provisto de ascensor), de 105 m de altura, cuyo acceso superior alcanza la coronación de presa, así como el pozo P-2 que da acceso directo desde coronación a la galería perimetral.

Red de pozos y galerias

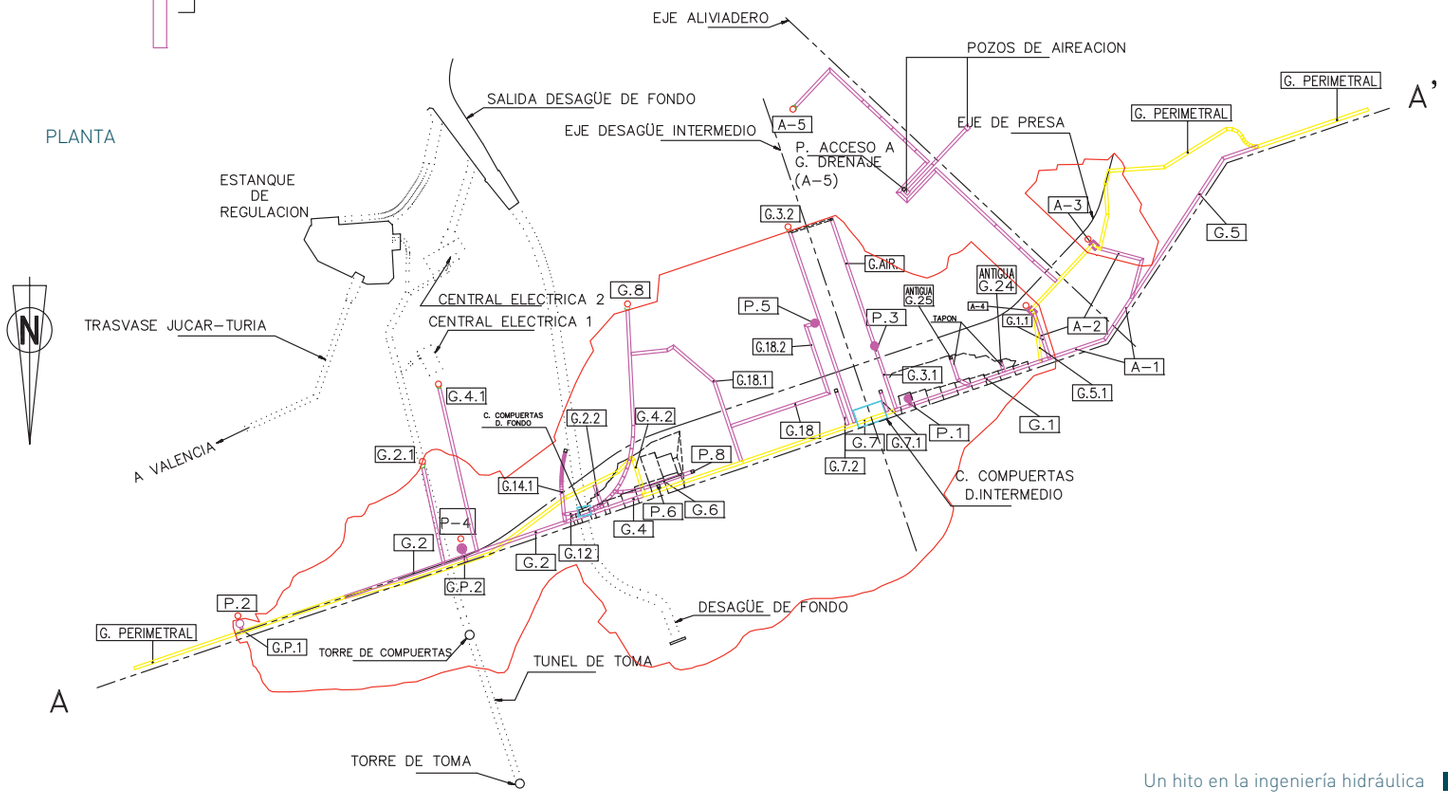
SECCIÓN A-A



SALIDA

ASCENSOR

PLANTA



Vistas de los pozos

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 gunita con fibras metálicas.

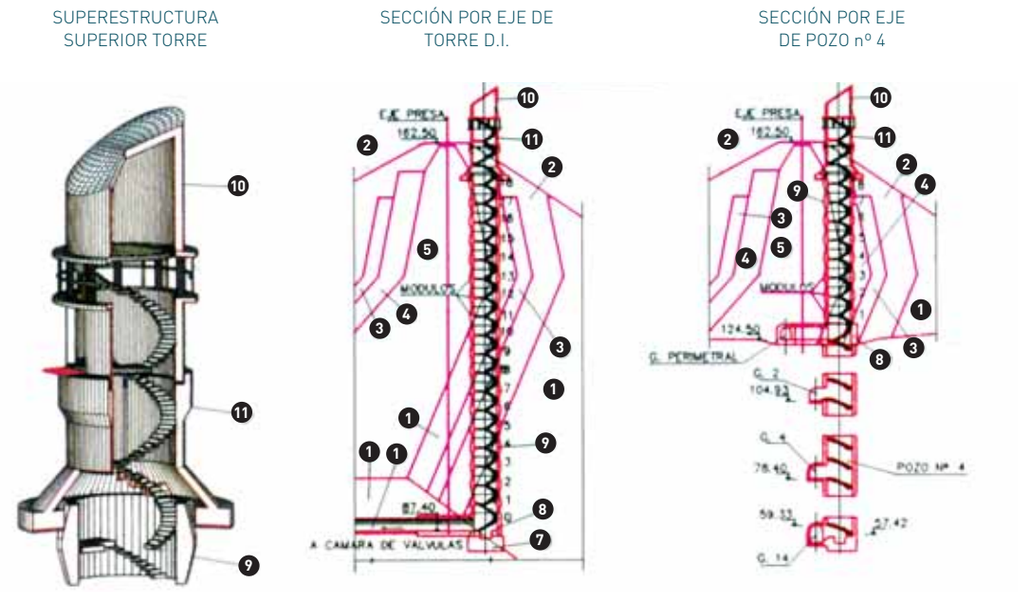
Dos torres ocultas y singulares

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 m^2 para garantizar la adducción 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-

Torres de acceso al desagüe intermedio y pozo 4
Planta y sección



ternativas, 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).

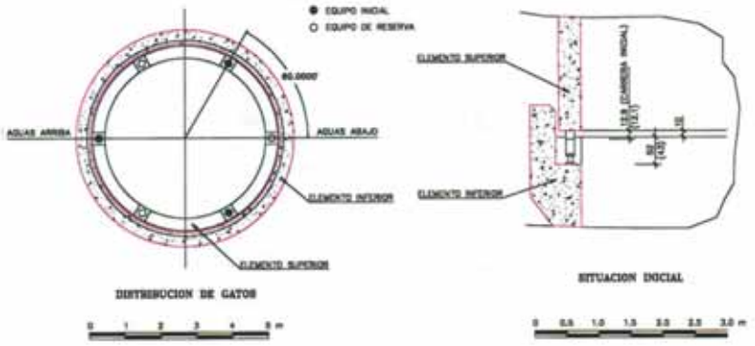
El diseño preliminar, que serviría como base de partida al proyecto definitivo, se aprobó en los primeros días de 1993. La filosofía se basaba en eliminar la incompatibilidad en las deformaciones de una estructura rígida, inmersa en un cuerpo con la deformabilidad del cuerpo de presa. La solución a esta 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 asientos 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 120º. 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 le 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 acompasar 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 presa, 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.

Visión panorámica de la presa desde el embalse

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 m^3/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 m^3/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.

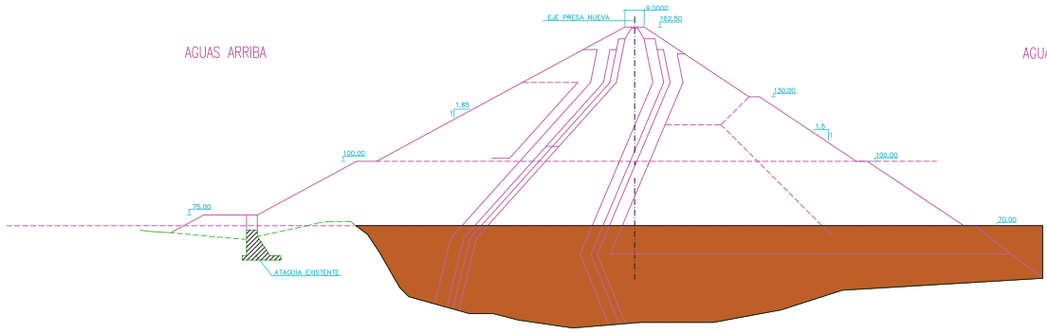
Fase 4 (hasta noviembre de 1994): Una vez coronada la presa, se procedió al cierre técnico del túnel de desvío el 3 de noviembre de 1994 y a embalsar.

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.

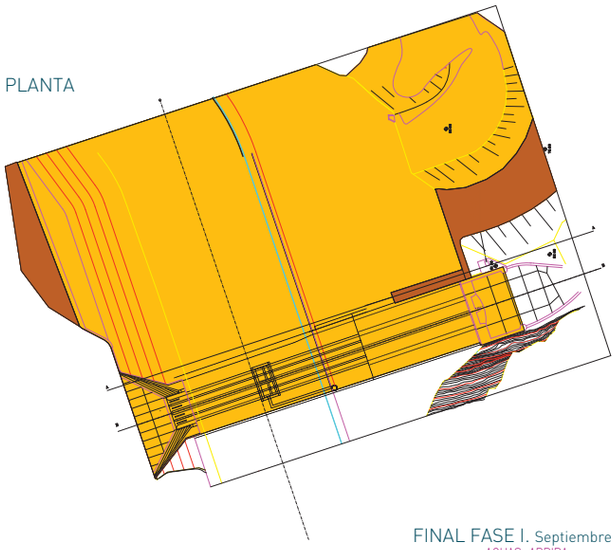
Situación de las obras al final de las fases 0 y I

FINAL FASE 0. Abril 1992

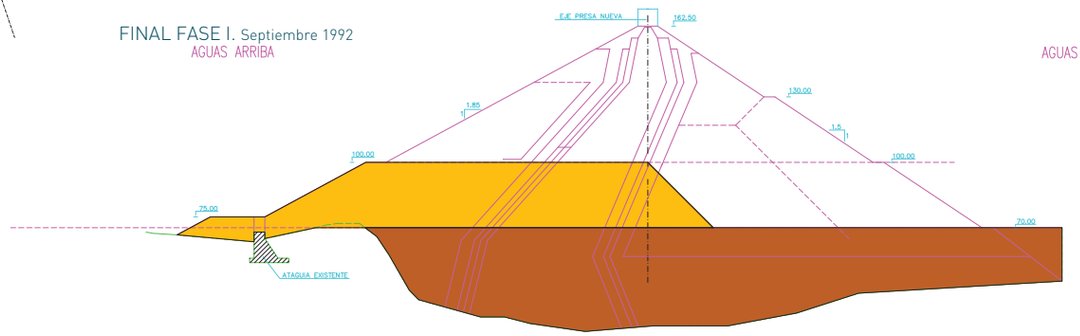


1. Recrecido ataguía a cota 75.00
2. Rellenos de presa a la cota 70.00
3. En construcción 1ª Fase desagüe intermedio
4. Túnel de desvio en funcionamiento

PLANTA

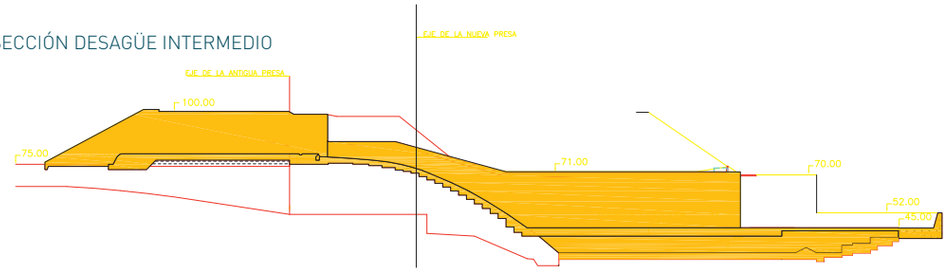


FINAL FASE I. Septiembre 1992



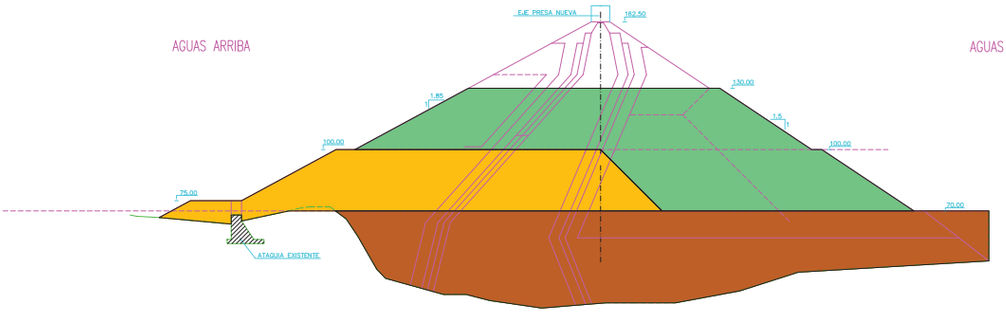
1. Rellenos de presa a la cota 100.00
2. Desagüe intermedio 1ª Fase en funcionamiento
3. Capacidad de desagüe 5.000 m³/s

SECCIÓN DESAGÜE INTERMEDIO

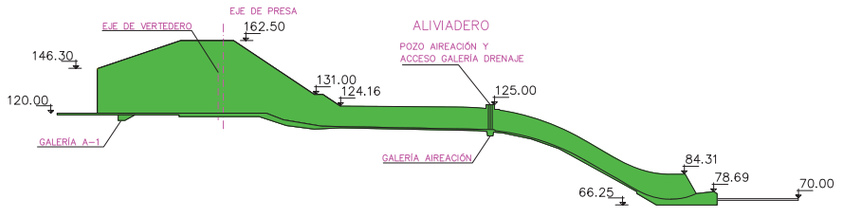


Situación de las obras al final de las fases II, III y IV

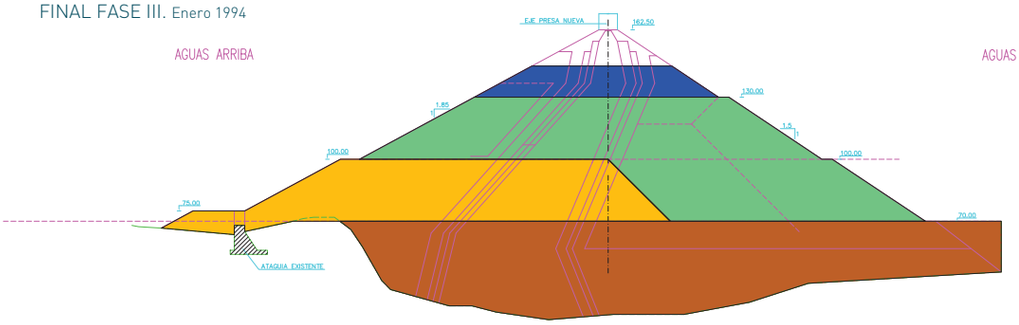
FINAL FASE II. Sept. 1993



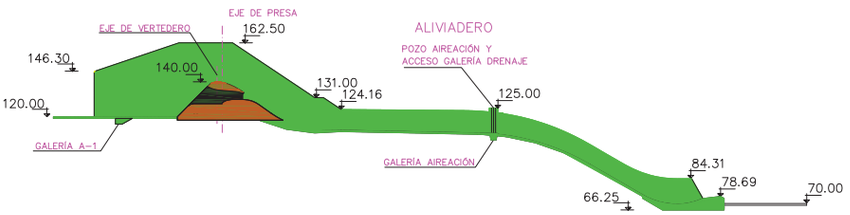
1. Rellenos de presa a la cota 130.00
2. Desagüe intermedio terminado
3. Aliviadero 1ª Fase (cota 120.00) en funcionamiento
4. Capacidad máxima de desagüe 5.300 m³/s
5. En condiciones de cerrarse el tunel de desvio



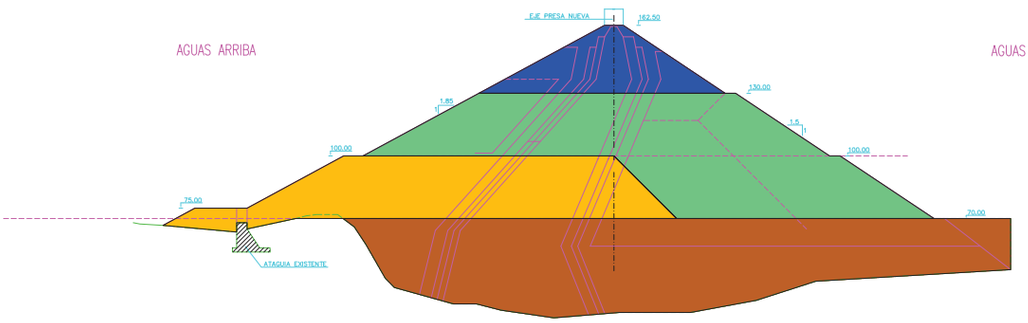
FINAL FASE III. Enero 1994



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 riegos, 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 riegos a través del canal Júcar-Turia habría que superar la cota 78 de embalse, lo que supondría tener que almacenar más de 26 Hm^3.

- 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 Hm^3 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 exiguos 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 estudiado 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.

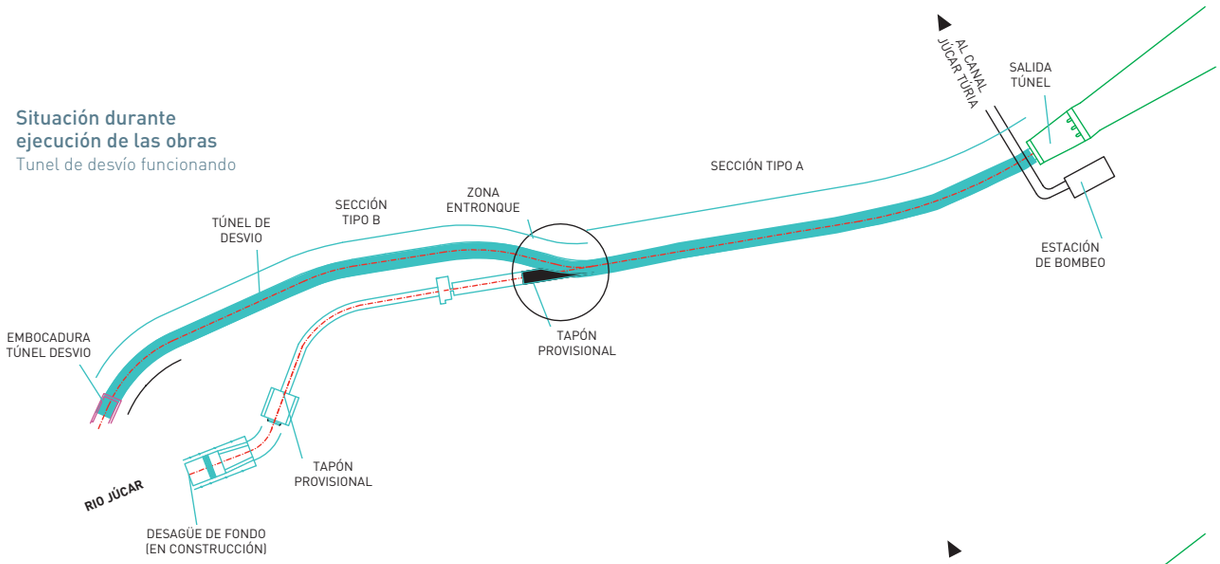
Al superar el embalse la cota 80 se pudo dar el agua de riego al río Júcar a través del desagüe intermedio. A partir de ese momento (el 31 de enero de 1995) se cerraron las válvulas, con lo cual se dejó en seco el túnel de desvío y se pudo empezar a realizar los tapones. Estas válvulas quedaron ya sin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

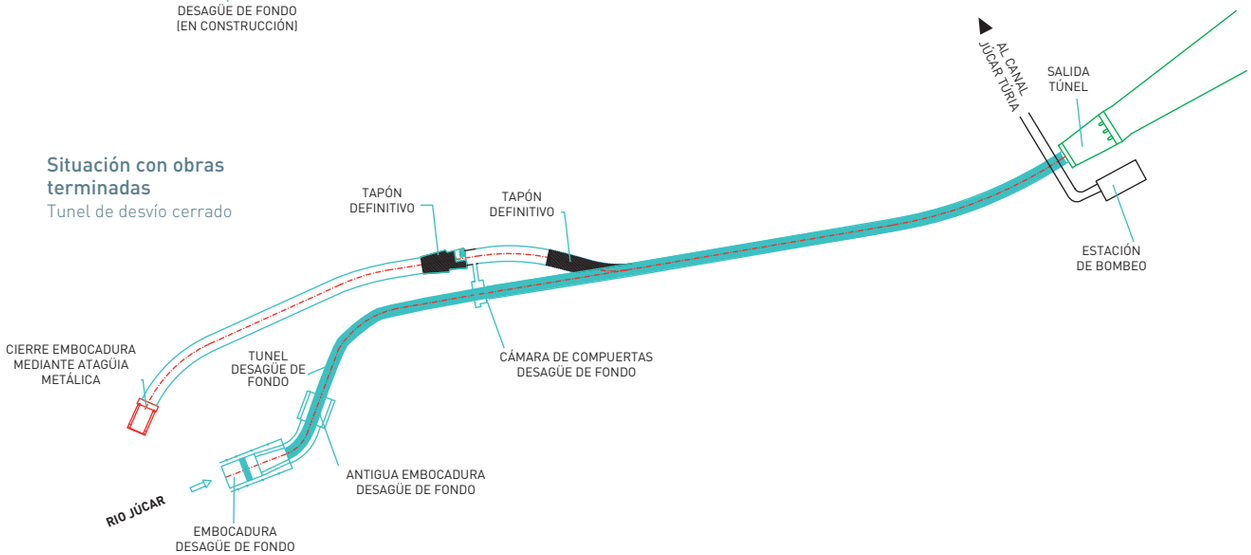
Situación durante ejecución de las obras

Tunel de desvío funcionando



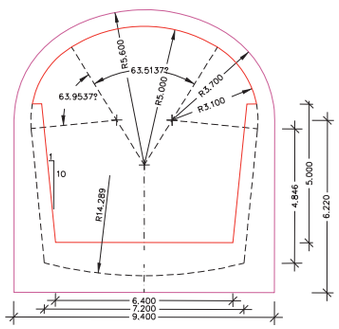
Situación con obras terminadas

Tunel de desvío cerrado

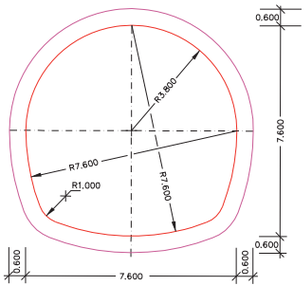


Secciones de túneles

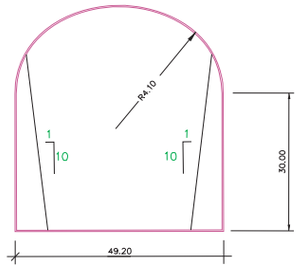
Sección tipo A



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 riegos y abastecimiento, este no alcanzaba la cota necesaria (→ 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 cimiento 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 trilineal 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 (4,5m^3/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 m^3, 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 ml 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/cm^2 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.

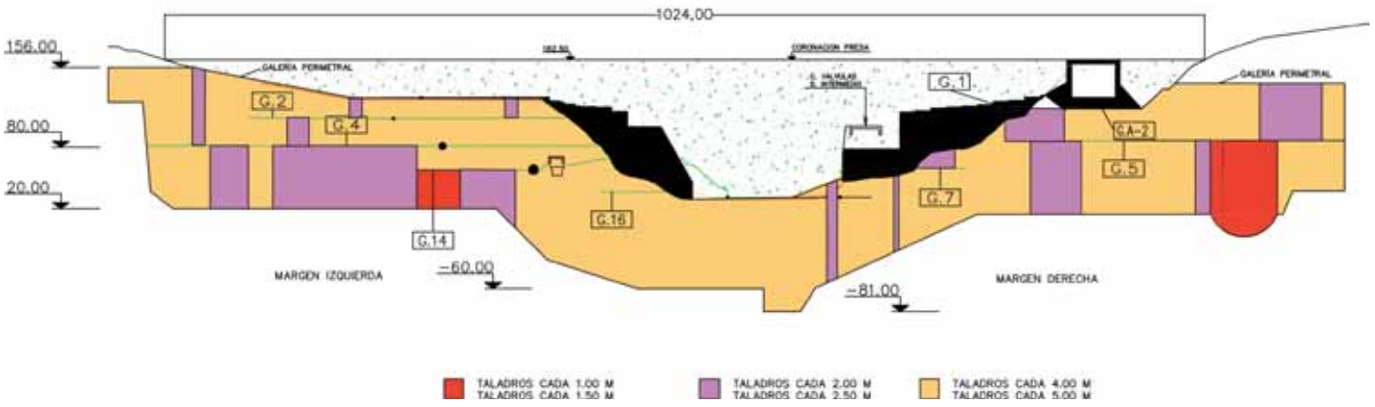
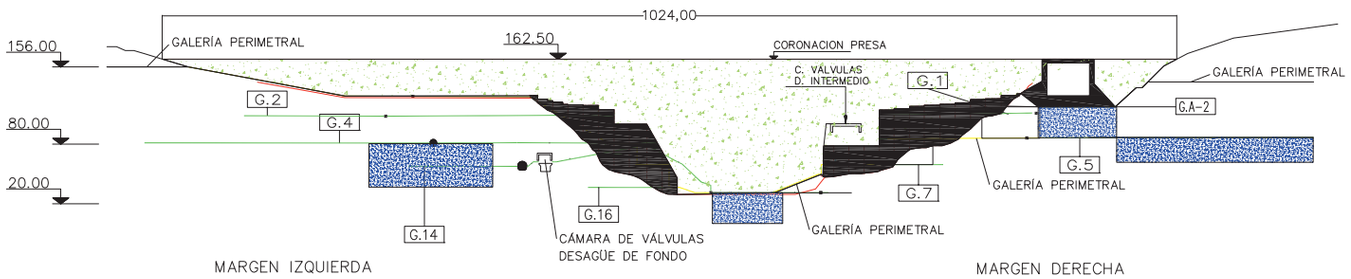
En la galería 18 de la cota 30, existía una **batería de drenes de subpresión**, de los cuales muchos de ellos estaban colmatados. Se ha procedido a recuperar estos drenes colmatados y a la ejecución de 9 nuevos.

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