

COMMISSION INTERNATIONALE  
DES GRANDS BARRAGES

-----

VINGTIÈME CONGRÈS  
DES GRANDS BARRAGES

Beijing, 2000

-----

**LA NUEVA PRESA DE PUENTES  
DISEÑO Y FUNCIONALIDAD DE SUS ÓRGANOS DE DESAGÜE**

Antonio MAURANDI GUIRADO

*Director de las Obras, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Confederación Hidrográfica del Segura*

Jesús GRANELL VICENT

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Director General de Jesús Granell Ingeniero Consultor, S.A.*

José Manuel SOMALO MARTÍN

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Jefe de zona, O.H.L., S.A. Empresa Constructora*

**ESPAÑA**

**1. INTRODUCCION**

El control de avenidas y la regulación del río Guadalentín en el “estrecho de Puentes” ha sido, desde hace tres siglos y medio, objetivo prioritario para las autoridades hidráulicas de España y concretamente de la Región de Murcia.

El río Guadalentín, también llamado Sangonera, representa la fuente natural de recursos hídricos de la riquísima vega lorquina, cuya feracidad se ve, por desgracia, con demasiada frecuencia, sometida a periodos de extrema sequía.

Por otra parte, el tremendo poder devastador del río Guadalentín, representa una amenaza constante para la población de Lorca, situada en su tramo inferior. Precisamente aguas arriba de Lorca, a una distancia de dieciséis kilómetros, el río presenta una abrupta garganta, denominada desde antiguo “estrecho

de Puentes”, sobre la que tradicionalmente se ha intentado cerrar y dominar su devastador régimen hidrográfico.

La presente comunicación trata de resumir los trabajos de proyecto y construcción de la Nueva Presa de Puentes, que por cuarta vez se construye en su estrecho: las dos primeras fueron devastadas por las crecidas del río, y la tercera, una bellísima estructura del siglo pasado, sigue en pie habiendo soportado satisfactoriamente el paso de las mismas. Desgraciadamente, su embalse ha quedado prácticamente inutilizado, debido a la acumulación de sedimentos procedentes de la cuenca receptora, razón por la cual se hizo necesario el estudio de su recrecimiento.

Dichos estudios concluyeron con la redacción del Proyecto de la Nueva Presa de Puentes, cuyas obras, hoy felizmente, están a punto de finalizar.

A ella, a la cuarta Presa de Puentes, queremos dedicar este trabajo, tratando de sintetizar, en unas pocas páginas, todo lo vivido a lo largo de los cerca de siete años que han durado los estudios y trabajos desarrollados hasta la culminación de las obras.

## **2. LA PRESA DE PUENTES**

La Presa de Puentes actual es la tercera que se ha implantado en el denominado “estrecho de Puentes” del río Guadalentín; las dos anteriores fueron destruidas por las avenidas del Guadalentín; la primera de ellas en 1648 sin haber finalizado las obras, y la segunda, construida durante el reinado de Carlos III, fue destruida por sifonamiento de la cimentación en 1802. La tercera presa, es decir la actualmente existente, se inició en 1881 aguas abajo de las anteriores, finalizándose sus obras cinco años después.

Esos intentos de controlar el río mediante una presa en el estrecho de Puentes han tenido que afrontar un doble problema, la extrema torrencialidad del Guadalentín por un lado, y por otro, la dificultad que suponía, en épocas pasadas, cimentar adecuadamente la presa en el fondo del estrecho.

En época reciente, década de los 60, la presa actual se recreció con hormigón en una altura de 80 cm, al mismo tiempo que se disponía una pantalla, también de hormigón, de 0,5 m, sobre el paramento de aguas arriba.

Coincidiendo con ello, se construyó un amplio aliviadero en pozo en la margen izquierda, que mejoró significativamente las condiciones de evacuación de las riadas del Guadalentín, confiadas anteriormente a la derivación por el llamado *barranco del aliviadero*, en la margen derecha.

La máxima altura total sobre cimientos de la presa actual es de 69 m, reduciéndose a 47 m si se considera la altura sobre el cauce en el pie de aguas abajo; la amplia diferencia entre ambas se justifica fundamentalmente por el potente relleno aluvial del cauce. Aguas arriba, la altura sobre el cauce se reduce a 23 m, porque en los 100 años de existencia de la presa, la extrema erosionabilidad de la cuenca ha colmatado sustancialmente el embalse, aportando un relleno de tarquines cuya potencia ronda los 24 m.

En cuanto a capacidad, el máximo almacenamiento útil del embalse está reducido por este fenómeno de aterramiento a 13 Hm<sup>3</sup>; desde la cresta del aliviadero hasta la coronación de la presa, el agotamiento exhaustivo de las posibilidades de laminación del embalse, —no en vano la presa actual ha vertido tres veces por encima de coronación—, proporciona otros 13,1 Hm<sup>3</sup> de capacidad no controlable.

El papel estratégico del embalse de Puentes se puso de manifiesto en el plan de defensa contra avenidas de la cuenca del Segura, redactado por la Confederación Hidrográfica del Segura en 1977, que por un lado destacó la grave incidencia de las riadas del Guadalentín en las inundaciones de la cuenca, y por otro subrayó la importancia de Puentes como pieza de control de las primeras; en este sentido, el plan incluyó el recrecimiento de la presa actual, con objeto de maximizar el aprovechamiento del estrecho y mejorar significativamente el efecto laminador del embalse, lo que junto con otras actuaciones a lo largo del Guadalentín - derivación de caudales por el barranco del Paretón, construcción de la presa del Romeral, etc., permitiría alcanzar un adecuado grado de protección en todas las poblaciones ribereñas del mismo y las situadas aguas abajo de la confluencia con el Segura.

A parte de las características de extrema torrencialidad del río Guadalentín, propias de los ríos de la vertiente mediterránea, presenta éste otra faceta que viene a complicar aún más el problema de su represamiento y regulación: se trata de la gran cantidad de aportación sólida que arrastra, sobre todo en épocas de avenida. Ello hace que la vida útil de los embalses que se puedan establecer sobre su cauce esté muy limitada en el tiempo.

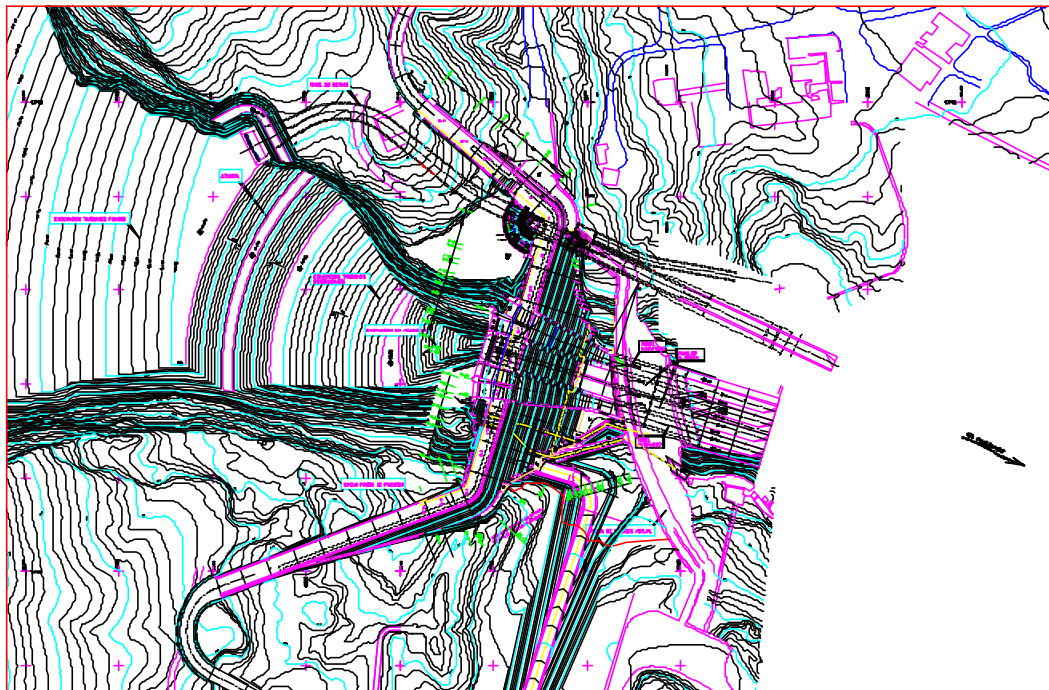
Para resolver el problema de la recuperación del embalse, y debido a las escasas garantías de seguridad que ofrecía el recrecimiento directo de la actual presa, se ha diseñado y construido una **Nueva Presa** en el estrecho de Puentes, la cuarta en orden cronológico, que situada aguas arriba de la actual, ocupando prácticamente la cerrada correspondiente a la presa que se derrumbó en 1802, tiene su coronación a la cota 474,00 (13 m. más alta), y es capaz de embalsar hasta 52 Hm<sup>3</sup>, con el fin de satisfacer la doble función de suministrar las demandas de agua regulada requeridas y de contener y laminar las hasta ahora catastróficas riadas del río Guadalentín.

### 3. EL PROYECTO DE LA NUEVA PRESA

La Nueva Presa de Puentes, en la actualidad en fase de construcción y próxima su finalización, es de hormigón, de tipo gravedad, y está definida en planta por tres alineaciones rectas. La central, normal al cauce del río Guadalen-tín tiene una longitud de 144 m. Las laterales corresponden a sendas aletas hacia aguas arriba que cierran el embalse a cota de coronación. La aleta de la margen derecha forma un ángulo de  $141,5^\circ$  con la alineación central de la presa y tiene una longitud de 140,91 m. La aleta de la margen izquierda forma un ángulo de  $125,5^\circ$  con la alineación central de la presa y tiene una longitud de 82,00 m. Los acuerdos entre las tres alineaciones se realizan mediante dos curvas circulares de 5,00 m. de radio. El desarrollo total a lo largo de la coronación es de 382,00 m.

La sección transversal tipo está formada por un perfil triangular con vértice a la cota 474,00 m., completado en la parte superior por un macizo prismático de 5,50 m. de anchura que se remata en coronación mediante dos ménsulas de 1,20 m.

La superficie de cimentación se establece con una contrapendiente del 2%.



El talud de aguas arriba es de 0,05/1 por encima de la cota 433,00 y de 0,3/1 por debajo de dicha cota, hasta el contacto con el terreno. El talud del paramento de aguas abajo es de 0,8/1 y la altura máxima sobre cimientos es de 76,00 m.

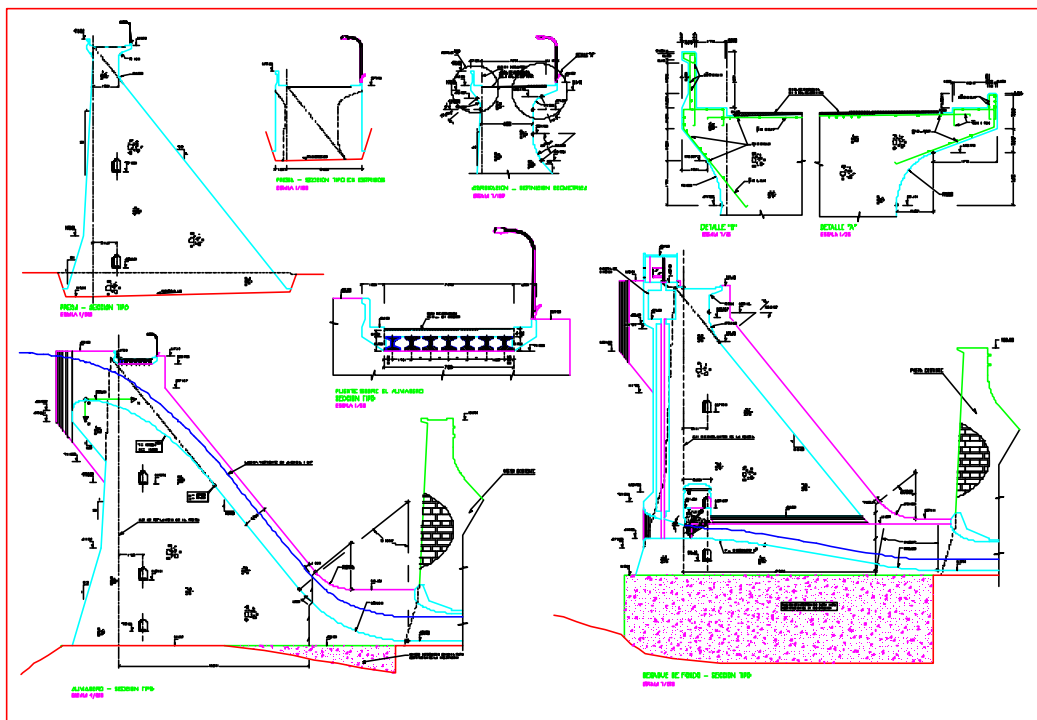
El aliviadero consiste en un vertedero sobre coronación formado por cuatro vanos de 7,50 m. de longitud, de labio fijo, y con el umbral a la cota 465,00. El escarpe responde a un perfil tipo BRADLEY con exponente 1,85 y carga de diseño de 20,00 m.

Estos cuatro vanos se agrupan en dos módulos gemelos, simétricamente dispuestos con relación a la estructura del desagüe de fondo. Cada módulo posee, por consiguiente dos vanos de 7,50 m. de anchura, separados por una pila intermedia - tajamar.

Los correspondientes canales de descarga, atraviesan la parte inferior de la Presa Actual, sobre su zócalo, para lo cual se perforan dos túneles de 6,00 m. de luz (más otros tantos para el desagüe de fondo), en su fábrica, que posteriormente se revisten de hormigón armado.

Finalmente, los dos canales de descarga terminan en sendas estructuras de lanzamiento, situadas al pie de la presa actual, y constituídas por deflectores de lanzamiento peraltados.

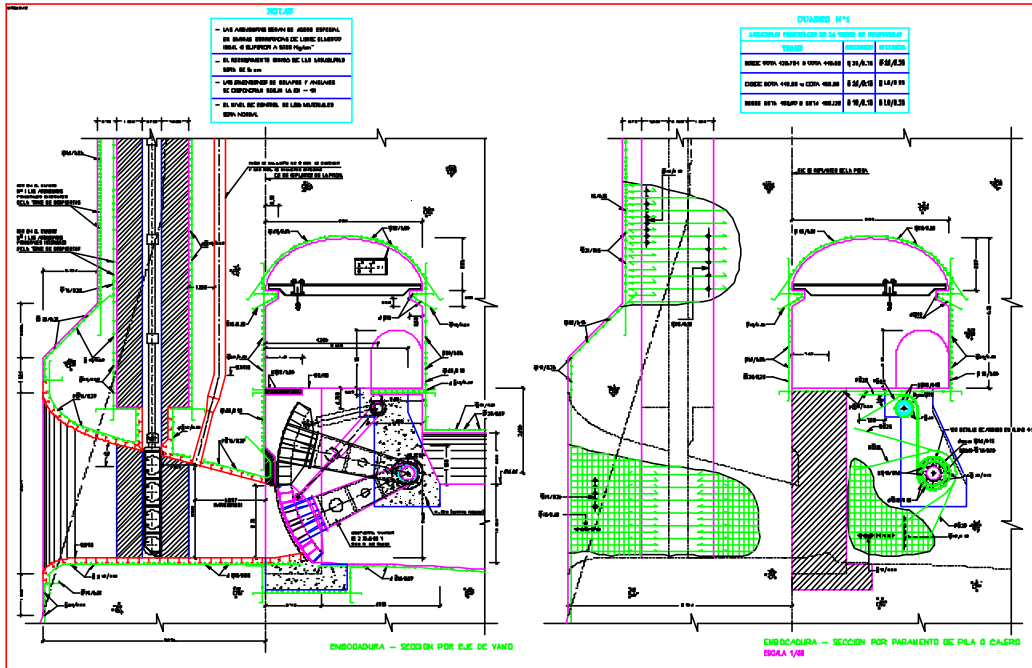
El aliviadero así definido es capaz de evacuar un caudal máximo de 2.020 m<sup>3</sup>/seg, caudal que corresponde al paso de la avenida de verificación (P.M.F.), tras su laminación en el embalse.



El desagüe de fondo de la presa, posee dos vanos y consiste en una estructura adosada al paramento de aguas arriba de la presa, que aloja en su interior sucesivamente los siguientes elementos:

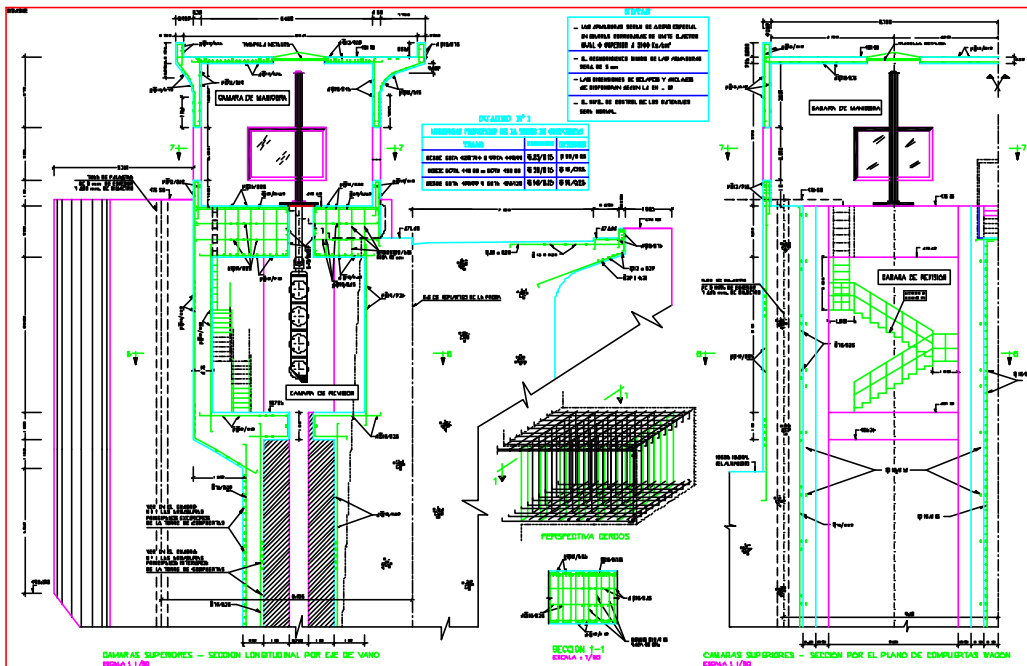
La embocadura, sin rejas de ningún tipo, y con la solera a la cota 420,00.

Transiciones, con solera horizontal y techo inclinado 15° sobre la horizontal.

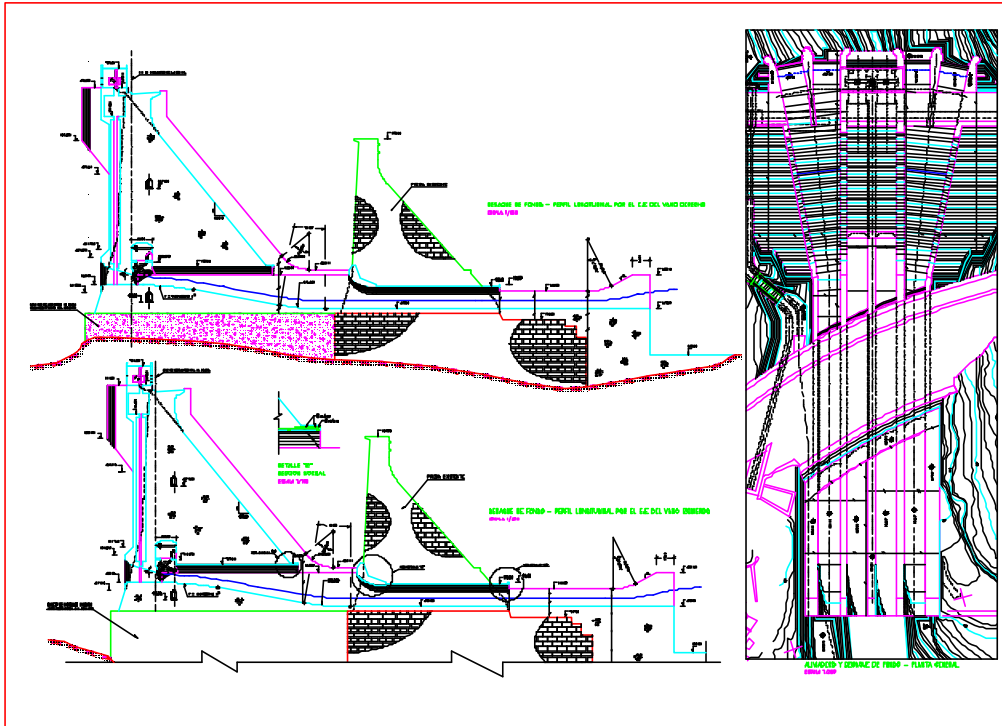


Compuertas wagon, de 4,50 m. de altura por 5,00 m. de anchura, alojadas en torre hasta coronación, con cámara de revisión y cámara de maniobras superior.

Compuertas Taintor, de 2,75 m. de altura por 5,00 m. de anchura, alojadas en una cámara de maniobras en el cuerpo de presa.



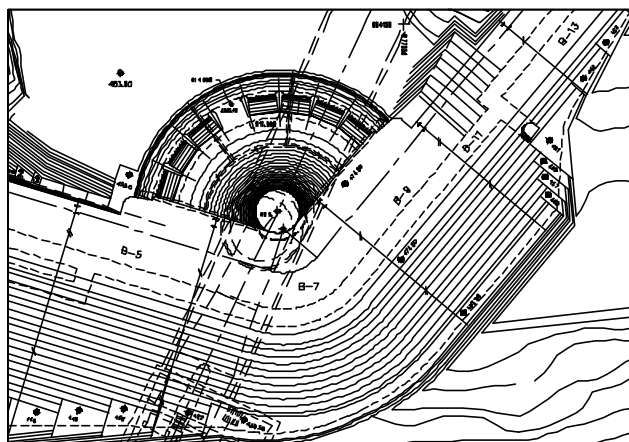
Conductos de descarga, con anchura de 6,00 m., que se prolongan primero en túnel o galería por el interior de la presa, posteriormente en canal entre las dos presas, después en túnel a través de la Presa Actual y finalmente de nuevo en canal hasta los deflectores de lanzamiento.



La Nueva Presa de Puentes posee, además, un tercer y singular órgano hidráulico: EL DESAGÜE DE MEDIO FONDO. Consta de los siguientes elementos:

Embocadura

La sección de toma se sitúa en un plano horizontal, coincidente con la embocadura del antiguo aliviadero en pozo. La cota del umbral es de 455,12 m y, en planta, posee forma sectorial adaptándose al cambio de alineaciones que presenta la presa en el estribo izquierdo. En alzado, presenta forma de cáliz desde la forma sectorial a la circular completa de 5 m. diámetro.



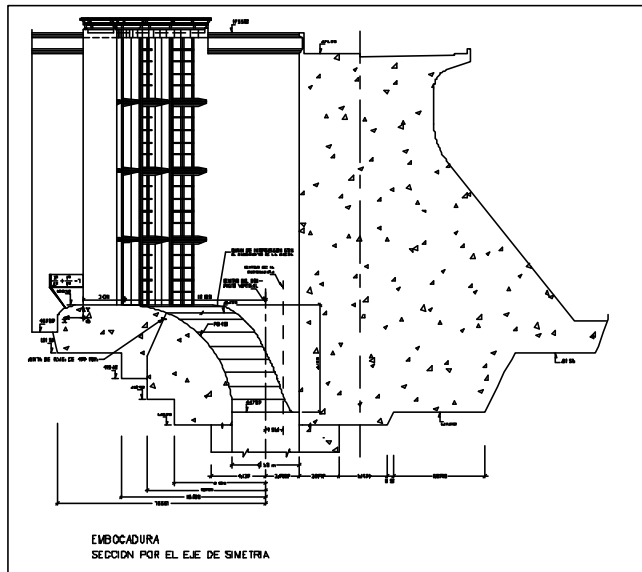
EMBOCADURA  
PLANTA GENERAL

de

Sobre el umbral de la embocadura se establece la estructura de la reja. Esta consta de una reja primaria de hormigón armado, sobre cuyos elementos estructurales se apoya la rejilla metálica formada por paneles independientes modulados y extraíbles.

Revestimiento del pozo

Este tramo vertical o pozo del “morning glory” hasta el codo, queda sustituido por un conducto blindado de 5,00 m. de diámetro, con un revestimiento exterior de hormigón armado.

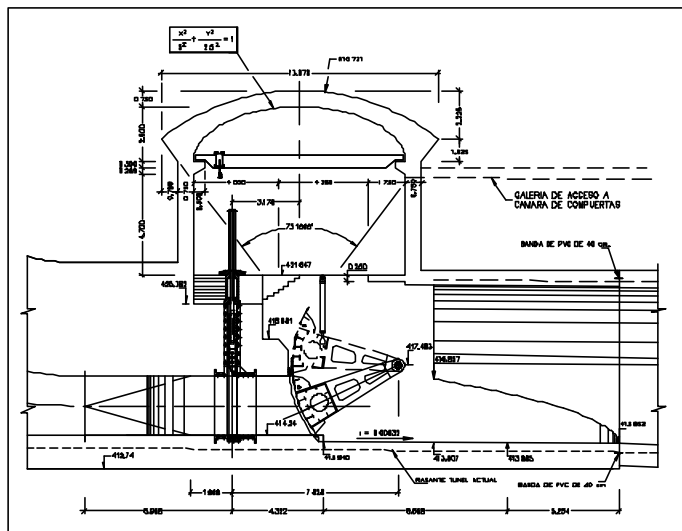


Codo y conducto hasta cámara de compuertas

Igual que el anterior, este tramo es blindado y con revestimiento de hormigón armado. Tiene una sección variable que varía desde circular de 5,00 m. de diámetro, al inicio del codo, a rectangular de 5,00 m. de anchura por 2,75 m. de altura, al llegar a la cámara de compuertas.

Cámara de compuertas

Tiene unas dimensiones de 10,00 m. en el sentido del flujo del agua por 14,05 m. en sentido perpendicular y 8,539 m. de altura, y se construye excavada en la roca. Su sección transversal es abovedada superiormente, con directriz elíptica, y su revestimiento, de hormigón armado, posee un espesor de 0,75 m.



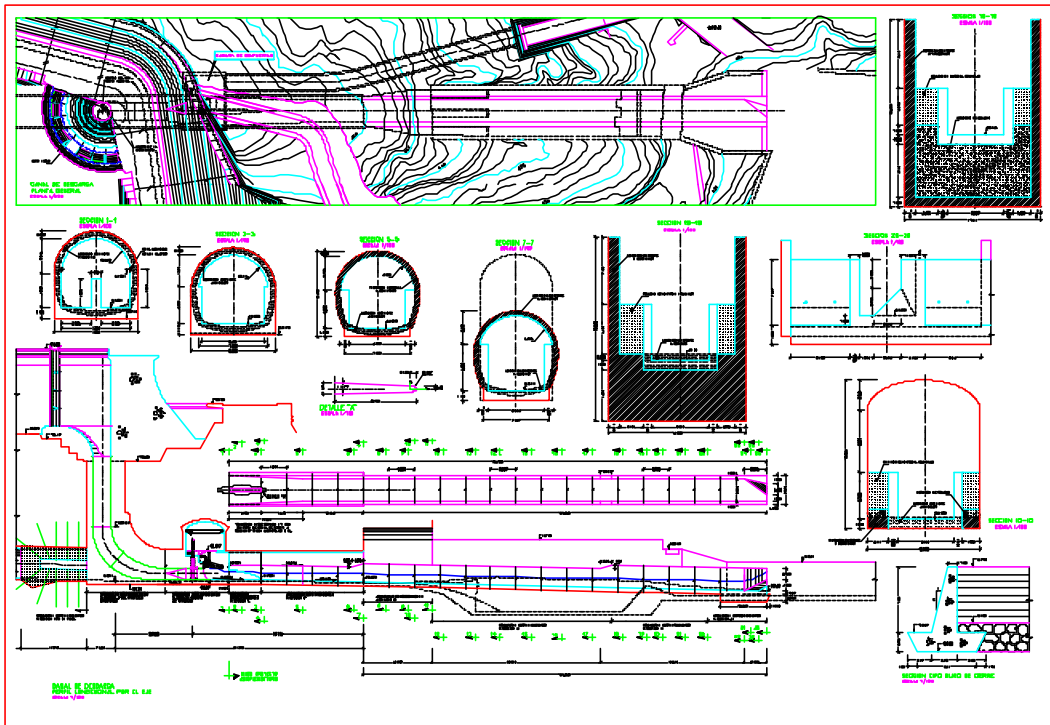
Su solera está situada a la cota 421,647, y se accede a ella a través de una galería independiente. El conducto blindado del nuevo desagüe, se divide, al llegar a la cámara, en dos conductos de 2,75 m. de altura por 2,50 m. de anchura separados por una pila de 1,75 m. de espesor. Cada uno de estos conductos se



cierra y controla mediante dos compuertas, una BUREAU primero, la cual sirve de guarda, y a continuación una TAINTOR de 5,00 m. de radio de giro.

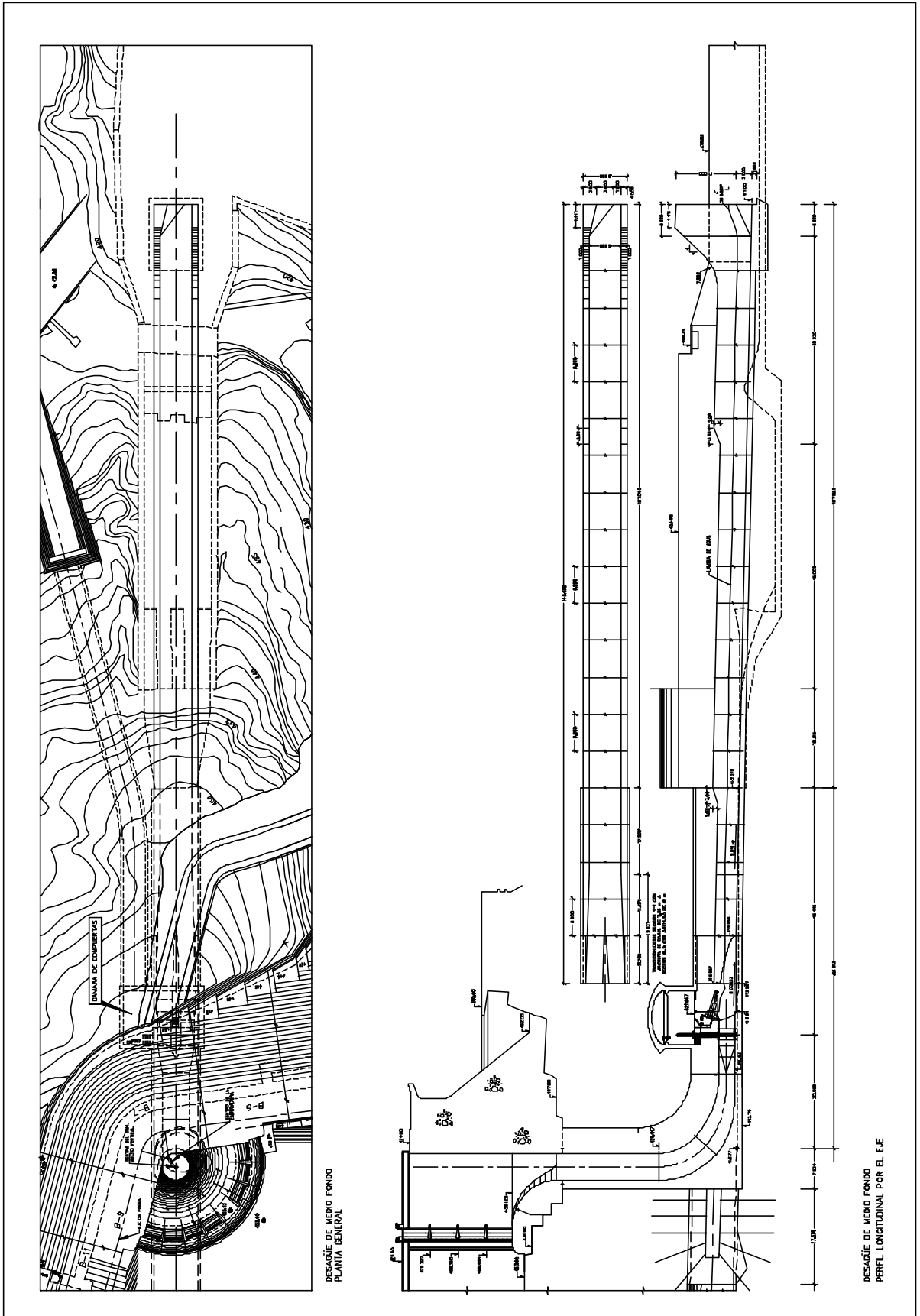
Revestimiento del túnel actual y estructura de lanzamiento

Este túnel se aprovecha, desde aguas abajo de la cámara de compuertas, como canal de descarga del nuevo desagüe. Para ello se construyen dos nuevos muros hastiales adosados a la sección actual en herradura, de manera que la sección final resultante es rectangular de 6,00 m. de anchura y calado variable.

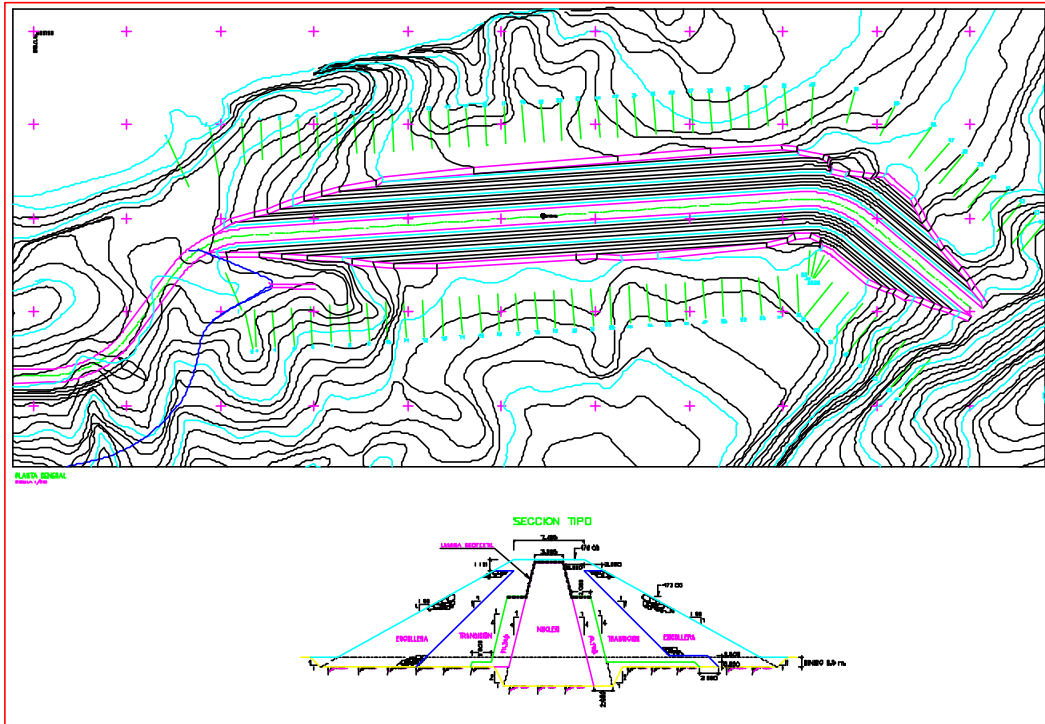


La estructura de lanzamiento consiste en un deflector situado al final del nuevo revestimiento para voltear y airear la lámina de agua, previamente a la restitución de caudales al cauce.

En el gráfico que se presenta a continuación se puede ver el conjunto de las obras correspondientes a este desagüe de medio fondo, proyectado y construido a partir del antiguo aliviadero en pozo.



Para cerrar el collado lateral existente en la margen izquierda del embalse, se proyecta un dique de cierre, con tipología de materiales sueltos, con núcleo interno arcilloso y espaldones de escollera. Ambos elementos, presa y dique lateral, se enlazan a través del correspondiente camino de acceso.



Para la construcción de la Nueva Presa de Puentes fueron necesarias dos obras preliminares, que facilitaron el manejo del cauce del río Guadalentín:

- La Obra de Regulación Provisional
- Las Obras de Desvío del cauce

La Obra de Regulación provisional consta de dos partes:

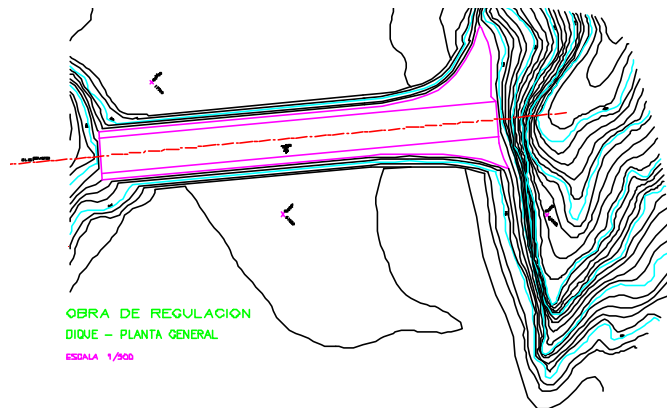
**Dique:** que con una altura de 6 m. sobre el nivel de los fangos de aterramiento, y una longitud de 210 m., se construyó con tipología de materiales sueltos, estando su sección tipo compuesta por cuatro elementos:

- **Espaldón de aguas arriba**, constituido por escollera procedente de productos de la excavación del aliviadero, compactada con rodillo vibratorio liso.
- **Espaldón de aguas abajo**, de análogas características al anterior.

- **Núcleo interno de material arcilloso**, constituido por arcillas procedentes de préstamo, compactadas con compactador pata de cabra vibratorio autopulsado.
- **áminas geotextiles**, colocadas entre los diques y el núcleo, tanto aguas arriba como aguas abajo.

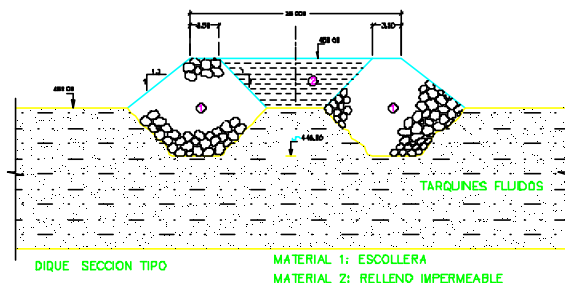
**Aliviadero:** que situado en un collado lateral, en margen derecha, consiste en una estructura de hormigón armado, con tipología de **aliviadero en laberinto**. Su planta es poligonal, constando de 9 módulos consecutivos de 10 metros de cuerda. La longitud total, en línea recta, entre los muros-cajero laterales es de 91,50 m, y la desarrollada, a lo largo del umbral del vertedero, de 288,00 m. Es capaz de evacuar la avenida de diseño de las obras de desvío provisional de la Nueva Presa de Puentes, equivalente a 900 m<sup>3</sup>/seg.

La finalidad de esta obra es el mantenimiento del suministro de agua a los regadíos de la vega de Lorca, durante la ejecución de las obras de la Nueva Presa de Puentes. La capacidad del embalse creado es de 2,5 Hm<sup>3</sup>, y garantiza la regulación anual de 9,86 Hm<sup>3</sup>.



La sección tipo del dique está formada por dos macizos de escollera paralelos, situados aguas arriba y aguas abajo, cuyos taludes externos son de 1,3 H: 1,0 V y cuyos taludes internos son de 1,0 H: 1,0 V. Su anchura en coronación es de 3,50 m.

Estos dos espaldones se cimentaron sobre los tarquines del vaso "clavándose" en ellos la profundidad necesaria que permita su estabilización y compactación. Entre estos dos espaldones de escollera se compactó el material impermeable, que enlazando con los tarquines del cimienta proporciona la debida estanqueidad al dique.

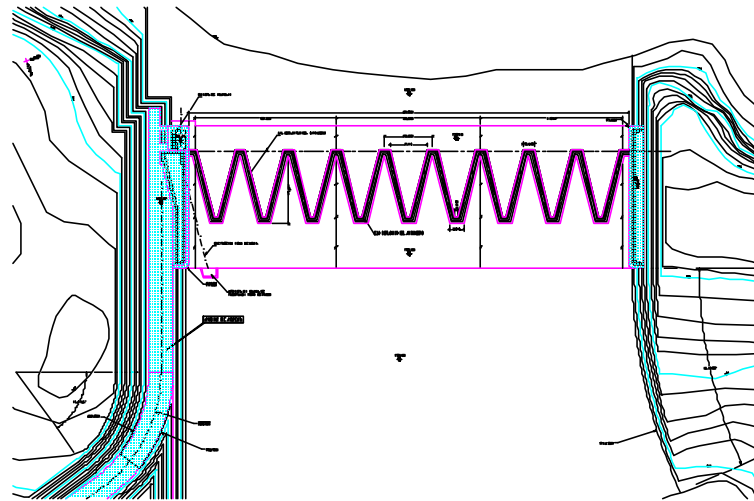


La anchura total del dique en coronación es de 26,00 m. y su coronación se sitúa a la cota 458,00 m., estando el cimiento en el emplazamiento a la cota 452,00. La altura del dique, sobre el cauce o tarquines es, por lo tanto de 6,00 m.

Para el control de asentamientos y deformaciones del dique, se previó la colocación de un itinerario de nivelación y colimación.

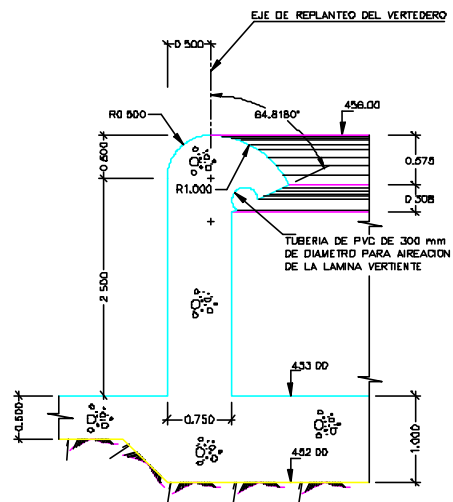
El aliviadero consiste en un muro - vertedero ejecutado en hormigón armado, cimentado en las molas que afloran en el collado existente en la margen derecha del emplazamiento del dique de la Obra de Regulación

Posee planta poligonal formada por una sucesión de nueve módulos trapeciales, de manera que se obtiene un aliviadero del tipo "en laberinto". La altura del muro - vertedero es de 3,00 m., con un espesor de 0,75 m. y se cimienta sobre una losa de hormigón



armado de 1,00 m. de espesor, la cual apoya directamente sobre las areniscas subyacentes. La cota del umbral es de 456,00 m. La anchura del aliviadero, medida entre sus dos muros - cajeros laterales es de 91,50 m., mientras que su desarrollo a lo largo del umbral es de 288,00 m.

El vertedero en sí, está formado por un perfil circular de dos centros en forma de "pico de pato", y está provisto, aguas abajo, de un goterón o conducto de aducción de aire que facilita la aireación de la lámina vertiente, y evita su adherencia al paramento de aguas abajo del vertedero.

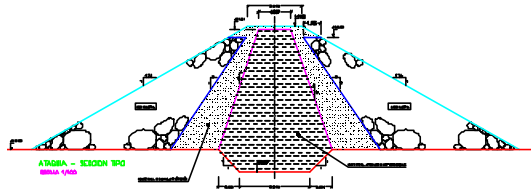


La capacidad del aliviadero así definido es de 905,00 m<sup>3</sup>/seg, valor de la punta del hidrograma pésimo de 10 años de período de retorno, una vez laminada en el embalse de la Obra de Regulación. Este caudal es evacuado con una lámina vertiente, sobre el umbral, de 1,54 m. Lateralmente, el aliviadero se cierra mediante dos muros-cajeros que se apoyan sobre los taludes de excavación en

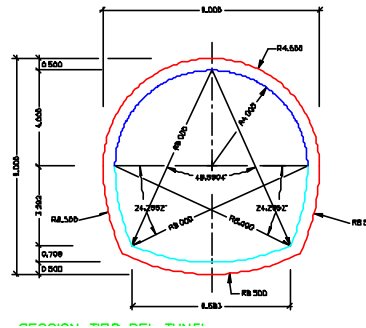
la roca. Estos muros se coronan a la misma cota que el dique de cierre, es decir a la 458,00 m.

Las obras de desvío provisional del cauce necesarias para la construcción de la Nueva Presa de Puentes, constaron de los siguientes elementos:

- **Atagüía:** Proyectada con sección tipo de materiales sueltos. Núcleo interno vertical de material arcilloso impermeable, arropado por zonas de transición - filtro de material granular, y espaldones exteriores de escollera de caliza. Se interpuso, entre el núcleo y la zona de transición un filtro complementario de material sintético geotextil. Se cimenta a la cota 130,00, sobre los tarquines consolidados y su coronación se establece a la cota 441,50.



- **Túnel:** Comienza con una embocadura de 16 m. de longitud, transición hasta una anchura de 8,00 m. y finalmente enlaza con el túnel de desvío, con sección en herradura normalizada de 8,00 m. de diámetro. Es capaz de desviar un caudal máximo de 900 m<sup>3</sup>/seg, el cual corresponde a la punta de la avenida de 10 años de período de retorno.

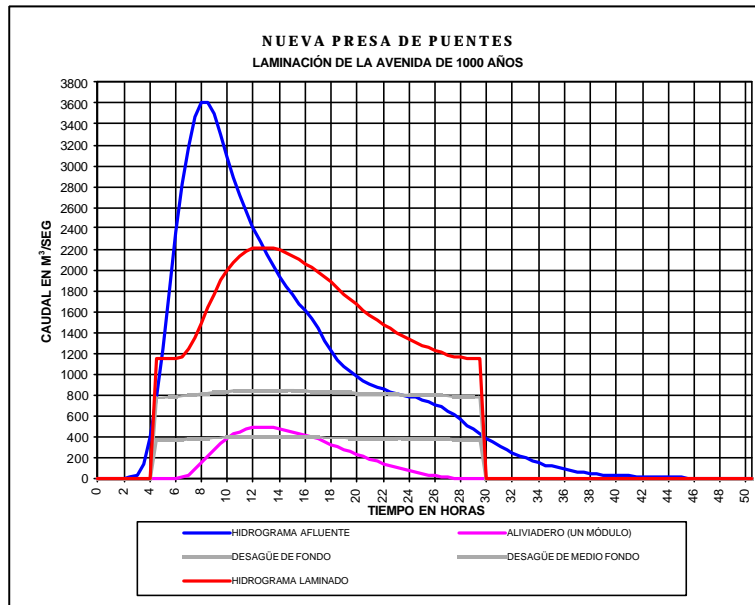


#### 4. LA LAMINACIÓN DE AVENIDAS EN EL EMBALSE DE PUENTES

El embalse de Puentes es capaz de almacenar 52 Hm<sup>3</sup> y las avenidas que debe soportar tienen puntas de 3.600 m<sup>3</sup>/seg y 5.600 m<sup>3</sup>/seg, para periodos de retorno de 1.000 años y en el caso de la P.M.F., respectivamente.

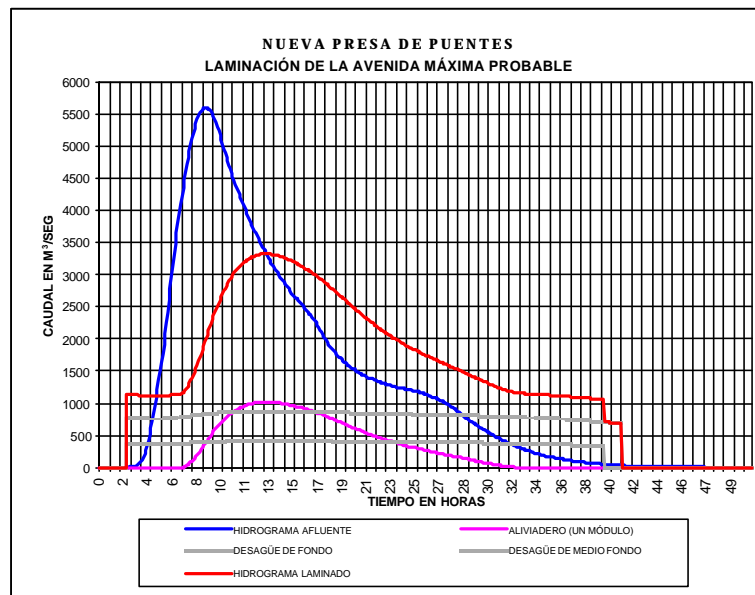
Para poder soportar estos caudales tan altos con un embalse reducido se puede optar por incrementar la capacidad del aliviadero de superficie, o bien dotar a la presa de desagües en carga de gran capacidad. Esta segunda posibilidad es la que se ha adoptado al diseñar la Nueva Presa de Puentes.

En el gráfico N° 1 se muestra el proceso de la laminación de la avenida milenaria en el embalse de Puentes. En él se puede ver que el reparto de funciones entre el aliviadero, desagües de fondo y desagüe de medio fondo está muy compensado: 1.000 m<sup>3</sup>/seg para el aliviadero, 800 m<sup>3</sup>/seg para el desagüe de fondo y 400 m<sup>3</sup>/seg para el desagüe de medio fondo, que suman los 2.200 m<sup>3</sup>/seg totales desaguados a que se reducen los 3.600 m<sup>3</sup>/seg de punta de la avenida.



**Gráfico N° 1**  
Nueva Presa de Puentes – Avenida de 1.000 años

En el caso de la avenida máxima probable, que se presenta en el gráfico N° 2, los resultados del proceso de laminación son aún más espectaculares: el valor de pico del hidrograma se lamina desde 5.600 m<sup>3</sup>/seg hasta 3.300 m<sup>3</sup>/seg, con un reparto entre los tres órganos de desagüe como sigue: 2.000 m<sup>3</sup>/seg para el aliviadero, 850 m<sup>3</sup>/seg para el desagüe de fondo y 450 m<sup>3</sup>/seg para el desagüe de medio fondo. Todo ello viene a demostrar el gran poder de laminación que posee la Nueva Presa de Puentes, con tan sólo 52 Hm<sup>3</sup> de capacidad, gracias a los dos desagües en carga de gran capacidad de que está dotada, uno de fondo de nuevo diseño y otro de medio fondo procedente de la transformación del antiguo aliviadero en pozo.



**Gráfico N° 2**  
Nueva Presa de Puentes – Avenida máxima probable

## 5. LA CONSTRUCCIÓN

### Excavaciones

Una de las particularidades más significativas que tuvo la excavación de la cimentación de esta obra, fue sin duda, la naturaleza del material a excavar: sedimentos o “tarquines” en diverso estado de consolidación, sin que se apreciara una línea divisoria clara entre los que estaban totalmente fluidos y los consolidados.

En principio se estudió la posibilidad de hacer la excavación de la mayor parte de los tarquines, por medio de bombas con dos posibles sistemas en función del grado de fluidez: para los muy fluidos, hasta 250 gr./l de sólidos, con bombas aspirantes de lodos con elemento de agitación en la aspiración, y para los de más cohesión, bombas similares a las empleadas para bombear hormigón. Sin embargo, esta solución se desechó debido a la gran cantidad de agua que resultaba necesaria para conseguir la fluidez en los lodos que posibilitara su bombeo.

Durante el tiempo en que se estudiaban estas alternativas, se hizo la excavación de la Obra de Regulación, teniendo la ocasión de comprobar que los tarquines eran susceptibles de ser cargados con una retroexcavadora a un camión dumper y transportados por éste sin problemas importantes.

Debido al gran volumen de tarquines previstos, más de un millón de metros cúbicos, el siguiente problema que se planteó fue, donde se depositaban y como resolver el seguro Impacto Ambiental que causarían.

La presa vieja disponía de un aliviadero lateral, que según se comprobó “in situ” había evacuado más de una vez, a la vista de la gran erosión producida en el valle lateral que le servía de cauce en esas ocasiones. Se pensó utilizar los tarquines para reconstruir el valle erosionado, y así se hizo.

A pesar de que el ángulo de rozamiento interno de los tarquines está comprendido entre 7 y 15°, se conseguían frentes de excavación estables con más de 45°, debido al grado de consolidación de la corteza superior y de la superficie expuesta al aire, ya que ésta, se carbonatada con relativa rapidez. Sin embargo, una vez que la retroexcavadora rompía esta capa, el talud colapsaba repentinamente, con el siguiente riesgo de enterramiento del equipo de excavación. Consecuentemente, se tuvo la precaución de no excavar frentes altos, de tal manera que si colapsaban, como ocurrió en más de una ocasión, nunca pudieran enterrar al maquinista.

Esta circunstancia obligaba a veces a aportar material adecuado para consolidar un camino que permitiera el apoyo del equipo de excavación en los tarquines fluidos sin hundirse en ellos.



Dentro del capítulo de excavaciones, cabe destacar la utilización de voladuras controladas en la ejecución del túnel de desvío, principalmente por la complejidad administrativa de los proyectos y permisos oficiales imprescindibles para poder utilizar explosivos.

Debido a la proximidad de la presa antigua, también fue importante el volumen excavado por medio de pica mecánica. Incluso los estribos izquierdos están solapados, de tal manera que para construir el nuevo, hubo que demoler buena parte del viejo. En la zona comprendida entre ambas presas y aguas abajo de la presa antigua, también se empleó, en gran medida, este procedimiento.

Una de las excavaciones más singulares, fue sin duda, la realizada en el cuerpo de la presa vieja, para ejecutar los cuatro túneles que la atraviesan y que sirven para dar continuidad a los aliviaderos y desagües de fondo de la nueva. Se hicieron enteramente con retroexcavadora, equipada con martillo oleohidráulico (pica mecánica). Afortunadamente, la excavación se sostuvo perfectamente, de tal manera que no hizo falta ningún tipo de sostenimiento extraordinario. Se tuvo, eso sí, la precaución de no excavar un determinado túnel hasta que su adyacente estuviera revestido e inyectado.

#### Instalaciones principales.

Las exigencias más costosas de cumplir relativas a los áridos utilizados en la fabricación de los hormigones de presas, son sin duda, las que se refieren a la arena, árido de tamaño menor de 5 mm. Son las siguientes:

- Contenido de finos. El límite máximo de finos que pasan por tamiz nº 200, equivalente al 0,08 mm. UNE, es del 5%.
- Granulometría recomendada por el uso de La Instrucción para la Construcción de Grandes Presas, en el que el porcentaje del tamaño 0/2 es del orden del 80% del total de la arena.

El cumplimiento de la limitación del 5% de finos, exige el lavado de la arena. En una arena lavada, el porcentaje de tamaño 0/2 es del orden 55 a 65%, con lo que se llega a obtener un déficit del 15 al 25% en este tamaño, cuya compensación obliga a fabricar un exceso de material 2/5 que no tiene aplicación directa en la construcción de la Presa.

Dado que los hormigones para presas exigen dosificar poco cemento y son de una consistencia próxima a 0, la influencia de los tamaños finos de arena es de vital importancia, para conseguir la plasticidad necesaria que permita la vibración adecuada.

Al mismo tiempo estas dosificaciones, bajas en cemento y en agua, consiguen que estos hormigones tengan un bajo calor de hidratación y también baja

retracción, característica fundamental como es obvio en la construcción de presas.

Como característica singular en esta presa, se debe citar la necesidad que hubo de utilizar un alto porcentaje, aproximadamente el 75%, de piedra caliza marmórea, procedente de canteras cercanas que se dedicaban a la explotación de mármol, ya que la alternativa de utilizar las graveras mas próximas a la obra, no fue del todo posible porque daban áridos muy heterogéneos y con el agravante de un porcentaje de partículas blandas que sobrepasaban los límites exigidos.

Para conseguir cumplir todas estas exigencias, se montó una planta de fabricación de áridos que con los siguientes equipos:

- Una Machacadora Primaria GRASSET MS-100
- El Molino APK-50
- Un Molino Arenero LAU-6
- Una Noria TACAL
- 1 Conjunto compacto de lavado arenas ERAL
- 1 Tromell lavador de áridos gruesos TACAL.
- 2 Decantadores de lodo de Lamellas TACAL

La capacidad de la misma es de 150 Tm./h.

La central de hormigonado empleada, tenía una capacidad de producción de 150 m<sup>3</sup>/h, constaba de una amasadora de doble eje horizontal con una capacidad de amasado por ciclo de 4m<sup>3</sup> de hormigón y con una tolva de espera de 8m<sup>3</sup>. Se complementaba con dos silos, uno para el cemento y otro para las cenizas, con capacidad de 700 m<sup>3</sup> cada uno. Disponía, asimismo, de 5 silos-tolva dosificadores de áridos, por peso, de 60 m<sup>3</sup> de capacidad cada uno.

Es importante destacar, el buen funcionamiento de la planta en general, sobre todo la homogeneidad obtenida en el amasado y la ausencia de problemas con las cenizas, frecuentes en otras plantas.

El conglomerante empleado en la fabricación del hormigón fue una mezcla de cemento tipo I-45 SRMR y de cenizas volantes, aunque ambos componentes tenían silos de almacenaje distintos, el silo predosificador era único, separando físicamente ambos componentes mediante una chapa soldada en su plano diametral, lo cual permitía hacer el pesaje independientemente.

El transporte de hormigón desde la planta de fabricación hasta el punto de colocación se hizo por medio de un equipo de cintas transportadoras "ROTEC". Estas cintas se trasladaban, para llegar a los distintos bloques, auxiliándose con una grúa-torre.

En algunos bloques pequeños laterales, donde no llegaba la grúa-torre, se posicionaban las cintas con grúas automóviles. El transporte de hormigón para

estos bloques se hizo con camiones dumper convencionales y la transferencia del camión a las cintas “ROTEC” por medio de una extendidora de arcenes, que se adaptaron en la obra para este cometido, funcionando muy satisfactoriamente, ya que permitieron transferir hormigón transportado en un camión convencional al circuito de las cintas “ROTEC”.

Aunque la morfología de las cintas “ROTEC” es similar a las cintas transportadoras convencionales, las prestaciones que dan y otras características, como son su ligereza, su alta velocidad, su autolimpieza y su completo juego de accesorios y utillaje para muy diversas aplicaciones, hacen de ellas, que sean un equipo de trabajo para transporte de hormigón que no tiene nada en común con las cintas clásicas.

Sus características más importantes son:

- Pueden trabajar a una velocidad de 5 m/seg, mientras que una cinta convencional funciona a una velocidad de 1 a 1,5 m/seg.
- Son autorresistentes cargadas de hormigón, hasta con luces del orden de 40m. No necesitan ningún apoyo intermedio.
- Son capaces de funcionar con pendientes de +25° a -30°.
- Poseen unos puntos de transferencia, donde pasa el hormigón, sin segregarse de la cinta que llega a la cinta que sale.
- Tienen rascadores regulables que impiden la pérdida de lechada, incluso son capaces de limpiar la banda de la cinta completamente, sin más que dejarlas en funcionamiento en vacío durante un par de minutos.
- Están equipadas con un mando en la cinta repartidora que actúa de tal manera que cuando ésta se para, paran a su vez todas las anteriores a ella.
- Tienen una capacidad de transporte de hormigón de hasta 200 m<sup>3</sup>/h.

Completa el equipo, una cinta distribuidora de hormigón que puede girar 360° y alargarse telescópicamente de tal manera que, apoyada en un punto, es capaz de colocar el hormigón a una distancia de dicho punto de apoyo comprendida entre 2,50 y 20 m. Esta cinta puede elevarse o bajar +24° a -10° sobre la horizontal. En el extremo de la cinta repartidora tiene un conducto elástico o trompa por el que cae el hormigón sin segregarse.

El equipo de que se dispuso en obra fue el siguiente:

- 2 Cintas de 40 m, cuyo peso unitario es de 5,4 Tm.

- 3 Cintas de 30 m, cuyo peso unitario es de 2,8 Tm.
- 2 Cintas de 20 m, cuyo peso unitario es de 2,2 Tm.
- 2 Equipos de cinta repartidora de 20 m, con peso unitario de 4 Tm. (El ancho de banda de las cintas es de 24”).
- 1 Grúa-torre LIEBHERR.

Como medio auxiliar importante del equipo de transporte de hormigón, se instaló una grúa-torre montada sobre carro móvil que tiene como misión principal, la de posicionar las cintas para el hormigonado de cada bloque. También se utilizó para llevar a cada bloque los equipos de vibración (8 Tm el más pesado), y una pequeña grúa automóvil para el encofrado (8 Tm) de los mismos.

El peso de estos equipos y la distancia a que hay que colocarlos determinaron la capacidad de la grúa. En su momento esta fue la grúa torre más potente montada en España: tenía una capacidad de carga de 20 Tm. a 30 m y de 9,8 Tm. a 61,40 m.

El equipo de transporte de hormigón se complementó con una extendedora de arcones, adaptada para que sirviera de tolva y punto de transferencia del hormigón desde el camión a la cinta “ROTEC”, y camiones hormigonera convencionales, destinados al transporte de mortero, para bloques a los que no era posible llegar directamente desde la planta de hormigón con el equipo de cintas y camiones dumper normales.

La compactación del hormigón se hizo por medio de vibradores de inmersión, con accionamiento oleohidráulico, montados en retroexcavadoras de orugas.

Se dispuso de dos equipos:

El primero, con tres vibradores montados sobre una retroexcavadora PEL-JOB EB- 506. Este equipo pesa aproximadamente 5 Tm. La presión que transmiten las orugas es de  $0,35 \text{ kgs/cm}^2$ , lo que permite que la máquina camine y evolucione por encima del hormigón fresco sin hundirse. El caudal que da el sistema hidráulico de la retro es de 75 litros/minuto. Los vibradores son de la marca URBAR, el modelo VH-15, tienen un diámetro de 150 mm, pesan 28,5 Kg cada uno, necesitan un caudal de aceite mínimo de 20 litros/minuto, dan una presión de trabajo de  $180 \text{ kgs/cm}^2$ . Tienen una capacidad de vibración, cada uno, de  $35 \text{ m}^3/\text{hora}$  de hormigón con una consistencia Vebe de 10 a 15 segundos.

El segundo equipo iba montado sobre una retroexcavadora OK-RH 2,8. Tenía cuatro vibradores de características similares a los anteriores. Este equipo pesa del orden de 8 Tm.

El equipo de vibración se complementaba con vibradores de mano, de accionamiento neumático, que se utilizaban en los puntos donde no llegaban los montados sobre máquinas. Normalmente se dispuso de dos en cada bloque en proceso de hormigonado.

A pesar de que la presa posee una geometría simple, con directrices rectas, —únicamente tiene dos bloques de planta curva y alzado troncocónico—, otras circunstancias y detalles, tales como: las superficies hidráulicas de los aliviaderos y desagües, los cajeros, las pilas, las galerías y cámaras interiores, la geometría de coronación de los bloques etc., hacen que, sin embargo, resulten unos paramentos de geometría compleja que exijan en muchos casos encofrados atípicos de costosa ejecución y muy pocas puestas.

El sistema estándar de encofrado fue el trepante de PERI-Presas que consiste, esencialmente, en una estructura metálica triangular resistente, llamada “consola” que se ancla al hormigón de la tongada anterior, por medio de una barra de Dywidag que a su vez está conectada a la consola por medio de un cono y anillo.

Sobre la consola apoya un perfil metálico vertical, que por medio de un tensor - regulador, que a su vez, está sujeto a la consola, permite fijarla en su posición final. Sobre estas vigas verticales se acoplan los tableros encofrantes que en este caso son metálicos.

Para el encofrado de coronación de los bloques se empleó un “carro” con accionamientos oleohidráulicos para mover a la vez toda la estructura encofrante de un bloque. Tenía unas dimensiones aproximadas de 20 m de largo por 8 m de ancho y 3 m de alto. El desplazamiento entre bloques se hizo manualmente.

Para las bóvedas de los canales interiores de los desagües de fondo y de las cámaras de compuertas, se utilizó una ingeniosa solución basada en cimbras metálicas apoyadas sobre consolas a través de un carro formado por las propias cimbras.

### Hormigones

El hormigón colocado en la presa se puede dividir en dos categorías:

- H-175 para el cuerpo de presa, con un volumen de 210.000 m<sup>3</sup>.
- H-200 para cajeros y muros armados, con un volumen de 40.000 m<sup>3</sup>.

### Conglomerantes

Se empleó como conglomerante una mezcla de cemento I45 SR-MR y cenizas volantes, en proporciones que han variado desde 55% de cemento y

45% de cenizas con un total de 200 kg./m<sup>3</sup>, hasta 50% de cada uno con un total de 180 kg./m<sup>3</sup>.

#### *Aridos*

Como se ha señalado en el apartado de instalaciones, los áridos se fabricaron en obra, en su mayor parte, en la planta instalada al efecto. Los cortes granulométricos empleados fueron: 0/2; 2/5; 5/20; 20/40 y 40/80. La limitación de tamaño máximo a 80 mm fue condicionada por la escasez de tamaños superiores en las graveras de la zona.

#### *Aditivos*

Con el fin de mejorar la trabajabilidad y reducir el agua de amasado, circunstancia prácticamente imprescindible para este tipo de hormigones con baja dosificación de conglomerante, se utilizaron aditivos. Si al mismo tiempo que se fluidifica el hormigón, se retarda su fraguado, se puede aumentar el tiempo que una tongada puede estar sin recibir hormigón fresco sobre ella sin que se produzca una junta fría. Por esta razón se ha empleado en el hormigón del cuerpo de presa un aditivo que tiene las características de ser fluidificante y retardador al mismo tiempo.

#### *Dosificación*

Para hallar la curva de composición de menor número de huecos (Aridos + Cemento + Cenizas) se utilizó el método de dosificación de Bolomey por módulos de finura. Posteriormente se ajustó la proporción de arena, teniendo en cuenta que la mezcla resultante de 0/2 más 2/5, estuviera dentro del huso recomendado por la Instrucción de Grandes Presas y no tuviera un módulo de finura superior a 3,00.

La relación agua/cemento se mantuvo próxima a 0,50, teniendo en cuenta, lógicamente la humedad y la absorción de todos los áridos. También se controló la consistencia Vebe, que debía estar comprendida entre 10 y 15 segundos.

Las dosificaciones empleadas en la fabricación del hormigón **H-175** del cuerpo de la Presa fueron las siguientes:

COMPONENTE	DOSIFICACIÓN 1	DOSIFICACIÓN 2	DOSIFICACIÓN 3
Arena 0/2	445 Kg	575 Kg	607 Kg
Arena 2/5	112 Kg	50 Kg	53 Kg
Gravilla 5/20	528 Kg	542 Kg	544 Kg

Grava 20/40	483 Kg	476 Kg	478 Kg
Grava 40/80	610 Kg	589 Kg	589 Kg
CEMENTO	110 Kg	100 Kg	90 Kg
CENIZA	90 Kg	100 Kg	90 Kg
AGUA	110 Lts	96 Lts	92 Lts
Aditivo (Addiment VZ-4)	0,80 Lts	1,20 Lts	1,44 Lts

El peso de los áridos se refiere a la saturación, con la superficie seca, y la cantidad de agua se refiere a la cantidad real de amasado, hallada teniendo en cuenta las absorciones y humedades que tienen los áridos en el momento de utilizarlos. Con estas dosificaciones se obtuvieron resistencias medias de:

- A 7 días .....130 kgs/cm<sup>2</sup>
- A 28 días.....200 kgs/cm<sup>2</sup>
- A 90 días.....280 kgs/cm<sup>2</sup>

Para el hormigón **H-200** se utilizó la siguiente dosificación:

COMPONENTE	DOSIFICACIÓN
Arena 0/2	678 Kg
Arena 2/5	45 Kg
Gravilla 5/20	728 Kg
Grava 20/40	606 Kg
CEMENTO	182 Kg
CENIZA	78 Kg
AGUA	146 Lts
Aditivo	1,56 Lts

Es interesante resaltar, que el mortero de retomas, se fabricó con la planta principal de hormigón y se transportó con las cintas "ROTEC", sin ninguna dificultad, sin más precaución que la de controlar muy bien la consistencia para no pasarse de agua.

Equipos hidromecánicos

Completan la Presa el conjunto de compuertas, válvulas, tuberías y blindajes, necesarios para la explotación de la presa, situados en las siguientes cotas:

- Desagüe de Fondo..... a la cota 420,00 m.
- Desagüe de Fondo Operativo ..... a la cota 435,00 m.
- Desagüe de Medio Fondo..... a la cota 455,00 m.
- Aliviadero de lámina libre ..... a la cota 465,00 m.

Los elementos de control instalados en cada uno de ellos son los siguientes:

**Desagüe de fondo:**

- 2 Compuertas tipo WAGON de 4,50 m. x 5,00 m.
- 2 Compuertas tipo TAINTOR de 2,75 m. x 5,00 m.

**Desagüe de Medio Fondo:**

- 2 Compuertas BUREAU de 2,75 m x 2,50 m.
- 2 Compuertas TAINTOR de 2,75 m x 2,50 m.

**Desagüe de Fondo Operativo:**

- 2 Compuertas BUREAU de 1,25 m x 0,75 m.

**Tomas de agua para riego:**

- 2 Compuertas BUREAU de 1,25 m x 0,75 m.

Cabe destacar que las compuertas TAINTOR de 2,75 m x 5,00 m, son de las más grandes que se han instalado en España: Para dar una idea de su magnitud, baste indicar que pesan más de 30.000 kg. Asimismo, las WAGON pesan más de 40.000 kg. También estarán entre las mayores construídas las BUREAU de 2,75 m x 2,50 m.

Las soldaduras a tope fueron todas con penetración total, y se radiografiaron, como mínimo, el 10% en todos los casos. Todos estos equipos han sido fabricados y montados por ORBINOX, S.A.

**6. CARACTERÍSTICAS MÁS SIGNIFICATIVAS DE LAS OBRAS**

Las características más relevantes de la Nueva Presa de Puentes son:

- Altura sobre cimientos .....78,00 m
- Longitud de coronación .....382,00 m
- Anchura de coronación.....7,00 m



- Volúmenes del embalse:
  - Atarquinamiento a 50 años ..... 13 Hm<sup>3</sup>
  - Regulación para riegos..... 13 Hm<sup>3</sup>
  - Reserva para laminación..... 53 Hm<sup>3</sup>
- Superficie regable..... 11.000 Ha
- Longitud del aliviadero..... 29,00 m
- Desagüe de Fondo ..... 900,00 m<sup>3</sup>/seg
- Desagüe de Medio Fondo ..... 425 m<sup>3</sup>/seg
- Longitud del túnel de desvío ..... 260,00 m
- Presupuesto..... 5.500 Millones de pesetas

#### Unidades de Obra más significativas

- Excavaciones..... 950.000 m<sup>3</sup>
- Hormigones ..... 240.000 m<sup>3</sup>
- Acero en redondos para armaduras ..... 1.200 Tm

## 7. CONCLUSIÓN

Hasta aquí la breve pero a la vez densa descripción narrativa de lo que han sido el proyecto y la construcción de la Nueva Presa de Puentes. Las necesarias limitaciones impuestas a este tipo de aportaciones a los Congresos de Grandes Presas, nos impide dar más extensos y profusos detalles sobre su diseño y ejecución. Sin duda habrá nuevas ocasiones de hacerlo, tal vez haciendo hincapié en determinados aspectos puntuales, que de esa manera podrán ser mejor y más ampliamente divulgados, para conocimiento y utilidad de quienes los puedan requerir al tener que enfrentarse a retos ingenieriles de índole semejante.

En cualquier caso, queremos, aprovechando la tribuna que nos brinda la celebración del Congreso de Grandes Presas Beijing'2000, transmitir a todo el colectivo presístico mundial, nuestro más profundo reconocimiento a quienes nos precedieron en el afán de dominar y regular las aguas del río Guadalentín en beneficio de las zonas y poblaciones por él regadas y drenadas. A ellos queremos rendir nuestro más sentido homenaje y reconocimiento por la labor desarrollada, con gran mérito, a lo largo de la construcción de las tres presas que precedieron a la que ahora finaliza, a cuya concepción, diseño y ejecución, podemos decir con orgullo, hemos tenido la suerte y responsabilidad de contribuir.

## 8. REFERENCIAS

- LAS PRESAS DEL ESTRECHO DE PUENTES. José Bautista Martín y Julio Muñoz Bravo. 1986.
- RECRECIMIENTO DE LA PRESA DE PUENTES. NUEVA PRESA. T.M. LORCA (MURCIA). Proyecto de Construcción. Jesús Granell M-cent. 1993.
- NOVA BARRAGEM DE PUENTES. ESTUDO EM MODELO HIDRAULICO DO DESCARREGADOR DE CHEIAS, DA DESCARGA DE FUNDO E DA DESCARGA DE MEIO FUNDO. Laboratorio Nacional de Engenharia Civil (LISBOA). 1995.
- NOVA BARRAGEM DE PUENTES. ESTUDO EM MODELO HIDRAULICO A ESCALA 1/35 DA DESCARGA DE FUNDO E DA DESCARGA DE MEIO FUNDO. Laboratorio Nacional de Engenharia Civil (LISBOA). 1995.
- NOVA BARRAGEM DE PUENTES. ESTUDOS COMPLEMENTARES DAS ESTRUTURAS TERMINAIS DOS ORGAOS DE SEGURANÇA E EXPLORAÇÃO. Laboratorio Nacional de Engenharia Civil (LISBOA). 1996.
- NOVA BARRAGEM DE PUENTES. ESTUDO COMPLEMENTAR DA ESTRUTURA TERMINAL DA DESCARGA DE MEIO FUNDO. Laboratorio Nacional de Engenharia Civil (LISBOA). 1997.

## 9. RESUMEN

En el presente artículo se recoge, de manera sintetizada, la experiencia adquirida a través de los trabajos de diseño y construcción de la Nueva Presa de Puentes.

La situación estratégica de esta Presa, en la vertiente mediterránea, sobre el río Guadalentín y a poca distancia de la localidad murciana de Lorca, le confiere un papel importantísimo desde el doble punto de vista de regulación de caudales de riego y de protección frente a las devastadoras crecidas del río.

La importancia de esta Presa dentro de la política hidráulica del país y de la región viene corroborada históricamente por el hecho de ser ésta la cuarta presa que se construye en su emplazamiento. Las dos primeras, construidas en el siglo XVII, fueron devastadas por las crecidas del río Guadalentín. La tercera, construida a finales del siglo XIX, sigue en pie después de haber soportado el

paso de dichas crecidas. Desgraciadamente, su embalse ha quedado aterrado en su práctica totalidad, razón por la cual se ha hecho necesaria la construcción de la cuarta presa, de la cual, actualmente, están finalizando las obras.

La Nueva Presa de Puentes se ha diseñado, por lo tanto, para la doble finalidad de regular caudales para riego y de laminar y contener avenidas. Con esta doble finalidad, se ha dotado de órganos de desagüe singulares, como lo son el desagüe de fondo, capaz de evacuar 800 m<sup>3</sup>/seg, y el desagüe de medio fondo, capaz de evacuar 400 m<sup>3</sup>/seg.

El presente trabajo describe estos órganos desde los puntos de vista de diseño, construcción y funcional.