

LA APERTURA DE COMPUERTAS DEL EMBALSE DE LA SERENA

Manuel Barragán Sebastián.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Antonio José Alcaraz Calvo.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

José Ángel Rodríguez Cabellos.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

RESUMEN

La mayor reserva hidráulica superficial de España, ha alcanzado tras las últimas lluvias, el 86% de su capacidad. En los breves episodios, intensos pero no excepcionales (en la serie histórica de la zona los años 95-96 y lo transcurrido del 96-97 ocupan el séptimo y octavo lugar) el agua embalsada ha pasado de 70 Hm³ a casi 2.800, con aportaciones diarias de hasta 155 Hm³ y caudal instantáneo punto de 2.700 m³/seg. En las fechas en que se ha alcanzado el volumen citado, razones de seguridad aconsejan no pasar del 85%. Por ello y para celebrar la buena noticia de la recuperación hídrica del país, ratificada por el llenado generalizado de los embalses, la recuperación de los acuíferos y la vuelta al normal discurrir de agua por los cauces, tras la larga sequía de la mitad sur peninsular, el viernes 7 de febrero se realizó una apertura simbólica de compuertas que la desaparición momentánea de las nubes ha evitado que se convirtiese en necesaria y mantenida.

El artículo recoge los comentarios sobre la conveniencia a juicio de los redactores, de los embalses de regulación hiperanual, y de las coyunturas de la construcción de la presa, notable por su calidad de proyecto y ejecución, de la hidrología del río Júcar, y de los efectos resultantes de la aparición del embalse y del uso del agua, a la vez que se aportan datos sobre la estructura, los parámetros hidráulicos, potencial económico de los recursos almacenados, etc.

ABSTRACT

Recent rains brought Spain's largest surface water reserve to 86% of its capacity. The brief intensive showers were not a record; the year 95-96 was the seventh and 96-97 the eighth in intensity in the regional records. However, the reserve rose from 70 Hm³ to nearly 2,800 Hm³, with a daily increment of up to 155 Hm³ and a peak volume of 2,700 m³/seg.

The safety limit was set at 85%, so on February 7 a symbolic opening of the floodgates served not only as a cautionary measure but also as a celebration of the recovery of the water reserves after the long drought in the southern half of the peninsula. The clouds disappeared and the outflow was no longer necessary. The authors consider the value of self-regulating reservoirs, the acclaimed high standard of the Serena dam, the hydrology of the River Zujar and the benefits to the region of the water from the dam. Details are given of its structure of its hydraulic parameters, of the economic possibilities, etc.

Se admiten
comentarios a este
artículo, que deberán
ser remitidos a la
Redacción de la ROP
antes del 30 de
abril de 1997.

Recibido en ROP:
febrero de 1997

EL GRAN EMBALSE DE LA SERENA. LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA

Manuel Barragán Sebastián
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

1. ALGO SOBRE EMBALSES PENINSULARES

Al observar las cuencas que forman los grandes ríos peninsulares, se encuentran diferencias substanciales entre las posibilidades que ofrecen de establecer embalses de regulación voluminosos y de funcionamiento hiperanual, situados en el propio cauce principal.

El cauce del Ebro, desde Reinosa en la cabecera hasta Mequinenza, ya cerca de la desembocadura en el Mediterráneo es totalmente inhábil. La mayor parte de sus afluentes sólo se pueden regular cerca de su cabecera. Algunos de ellos son regulados naturalmente por las cumbres nevadas.

Al Duero, desde la Cuerda del Pozo hasta la frontera portuguesa le sucede lo mismo. De sus afluentes, sólo el Esla y el Tormes pueden regularse cerca de su desembocadura en el río principal.

Tampoco el Guadalquivir puede regularse aguas abajo del Tranco. Los afluentes sí. El Genil con Iznájar posee el mejor embalse de la cuenca.

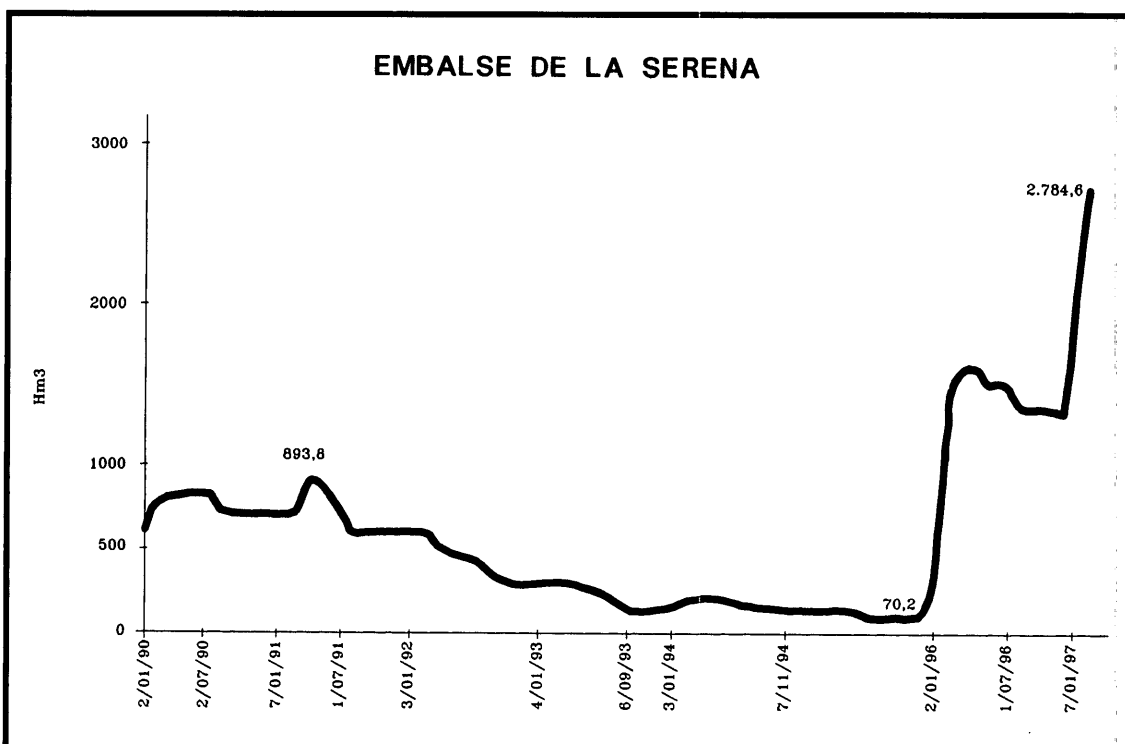
El Miño, el Tago, el Guadiana, el Júcar y el Segura sí poseen embalse en el cauce principal.

En el Tago, la pareja Entrepeñas y Buendía constituye un excelente equipo de regulación muy bien situado en relación con la cabecera y dominando una larga vega hasta Azután. A partir de Azután, nuevamente tiene grandes posibilidades de regulación resueltas con Valdecañas y Alcántara; éstos ya no dominan tierras regables en España pero forman magníficos saltos. Tiétar y Alagón también tienen buenos aprovechamientos.

De los restantes, el Guadiana, es el que ha ofrecido más importantes posibilidades de regulación en el cauce principal y en los de sus mayores afluentes el Zújar y el Matalchel. El Rueda tiene un tratamiento especial. Desde los embalses resultantes se dominan más de 300.000 Ha de posibles regadíos.

Sería muy interesante realizar un estudio comparativo de los perfiles de los grandes ríos españoles, de las partes de las cuencas que se pueden regular, la regulación que se consigue con los actuales embalses y las posibilidades de mejora en el futuro.

Este estudio solo contemplaría el punto de vista físico, la mera posibilidad; el uso del agua regulada sería otra cuestión. El Plan Hidrológico Nacional quizás lo haya hecho ya.



2.- REGULACIÓN

Una fórmula sencilla que creemos se acerca a representar el funcionamiento hidrológico de la cuenca media del Guadiana es la siguiente:

Para regular el 90 % de la aportación media anual es necesario disponer de una capacidad de embalse igual al triple de la misma aportación anual.

Los tres embalses escalonados del Guadiana, a saber, Cijara, García de Sola y Orellana totalizan una capacidad útil de 2.422 Hm³ que, con la construcción de la

En gran embalse de Alange sobre el Río Matachel, segundo en importancia por la margen izquierda, que podrá aceptar excesos de La Serena en años de grandes aportaciones mediante el Canal de Los Barros, junto a los que, en su

El dispositivo que hoy se está construyendo para regular el Río Ruelas, importante afluente por la margen derecha del

Convenía aprovechar la circunstancia de que la única población próxima al cauce era Guadalmaz, en la Provincia de

Ciudad Real, que ha quedado en el margen de la cola del embalse.

Todas las demás poblaciones de la zona: Esparragosa de Lares, Sancti Spiritus, Risco, Garlitos, Castuera, Cabeza del Buey, Zarzacapilla, Peñalsordo y Capilla, se situaron bien alejadas en distancia y altura del cauce de un río tan devastador con sus avenidas y que no se prestaba, en ningún punto, a establecer huertos ribereños.

El emplazamiento escogido quedaba en el interior del Embalse del Zújar, en funcionamiento ya durante quince años cuando se inició el proyecto de La Serena, y había demostrado reiteradamente su insuficiencia frente a las aportaciones de los años abundantes. Es curioso que este emplazamiento ya fue seleccionado en el Plan de Obras Hidráulicas de 1902 y rechazado, con modestísimo criterio, por estar construido el puentecito del tortuoso camino vecinal de Puebla de Alcocer a Castuera.

Esta situación obligaba a planear la construcción respetando el compromiso del Embalse del Zújar de servir a su propia zona regable en los términos municipales de Villanueva de La Serena, Don Benito, Medellín, Guareña, etc.

3.2.- CIMENTACIÓN

La solución que se adoptó fue la creación de un gran recinto, de 300 x 300 m. independiente, desde el punto de vista hidráulico, del volumen de agua en el Embalse del Zújar necesario para garantizar anualmente aquel servicio de riego y por lo tanto el nivel correspondiente.

Tal recinto se creó construyendo dos presas auxiliares de materiales sueltos, ataguía y contra ataguía y dos canales de desvío a la altura conveniente, uno en cada una de las laderas marginales, ambos para 250 m³/seg de capacidad.

La importancia de las posibles avenidas aconsejó practicar dos perforaciones en la Presa del Zújar para duplicar su capacidad de desagüe por debajo del aliviadero y ajustarla a los canales de desvío. Ambas perforaciones fueron dotadas de compuertas de cierre y control.

Las perforaciones fueron ejecutadas mediante voladuras controladas para limitar las aceleraciones en los puntos sensibles de la presa bajo niveles de seguridad que evitaran la formación de fisuras.

Los canales de desvío fueron dotados de un vertedero lateral de gran longitud para conseguir que, en caso de avenidas de caudal superior a los 500 m³/seg. el agua entrara en el recinto de cimentación con la menor altura de lámina posible y el mayor caudal que, anegándole, permitiera el paso del grueso de la avenida sobre las ataguías reduciendo el daño al mínimo posible.

En el mes de abril de 1987 se puso a prueba el dispositivo con una avenida que se aproximó a los 500 m³/seg. y elevó el agua en los canales de desvío a muy pocos centímetros de los labios de los aliviaderos. En ese momento el nivel del agua ex-

terior al recinto llegó a estar 35 m. por encima de su fondo donde se trabajaba en la excavación y preparación de la cimentación de la presa. El acontecimiento coincidió con una visita de los alumnos de la Escuela de Madrid, acompañados por los Profesores Álvarez y Baztán.

El gran tamaño del recinto para la cimentación permitió el establecimiento de amplias rampas de acceso al fondo y la libre maniobra de las máquinas de excavación y transporte.

El volumen de acarreo que se retiró para descubrir la roca de cimentación fue de 400.000 m³, empleándose palas cargadoras y camiones articulados. La operación se hizo entre septiembre y noviembre de 1986.

No se admitió el uso de explosivos para la excavación en roca de la cimentación de la presa que fue confiada a una máquina arrancadora o ripper de 620 cv con el criterio de desmenuzar y retirar todo el material que la máquina pudiera mover. Al final de la operación se midieron, mediante métodos sísmicos, velocidades en la roca del orden de 4.800 m/seg y módulos de elasticidad mediante geófonos triaxiales de 361.000 kg/cm².

La excavación del cimientto en la roca del cauce se realizó en tres meses por lo que el comienzo del hormigonado se inició sin demoras en noviembre de 1986.

El volumen de material retirado para cimentar alcanzó la cifra de 600.000 m³.

Las ataguías fueron levantadas en dos fases separadas por la inundación que duró desde diciembre de 1985 hasta octubre de 1986 que interrumpió todos los trabajos en la presa por no estar terminado aún el recinto hasta el nivel necesario.

Una pantalla de impermeabilización atraviesa los cuerpos de las ataguías, todo el espesor de acarreo en el cauce y se empotra en la roca de fondo.

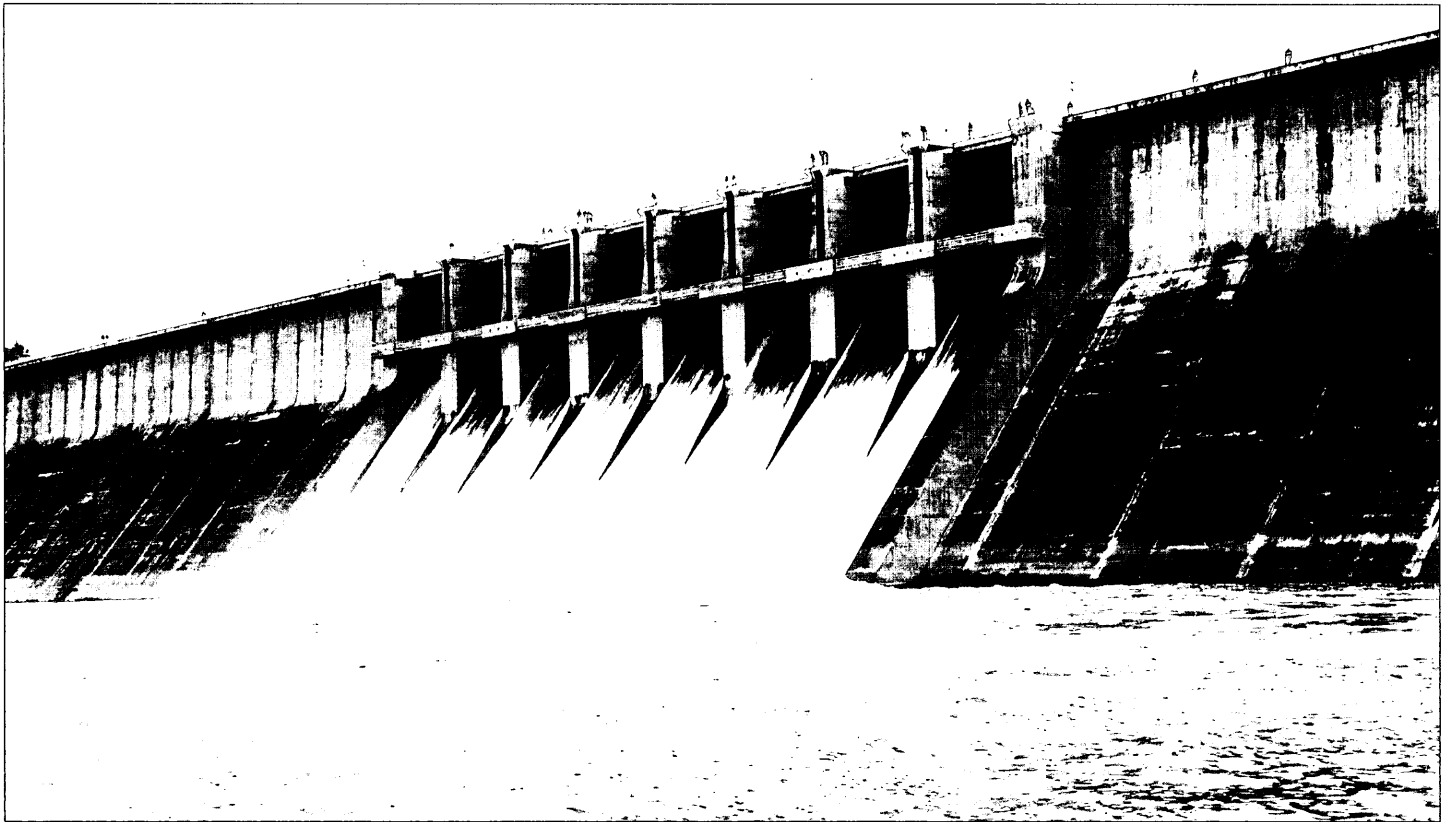
Mayor detalle de estas operaciones puede verse en la comunicación Q-62 R-41 presentada en el Congreso de Grandes Presas celebrado en San Francisco en 1988. También en el número de la Revista de Obras Públicas de Abril-Mayo de 1988.

3.3. CUERPO DE PRESA Y ORGANOS DE DESAGÜE

La presa es de gravedad recta con perfil de taludes 1/20 aguas arriba y 0,8/1 aguas abajo y construida por bloques de 15 m. de anchura, tongadas de 2,50 m., subtongadas de 0,60 m. y sin juntan longitudinales.

El calor de hidratación del hormigón, su contención y la reducción de las fisuras debidas a las tensiones por gradiente térmico fue una de las mayores preocupaciones de la Dirección de Obra.

La solución que fue adoptada con el apoyo científico del Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción del CEDEX consistió en utilizar un cemento frío mezclado con un alto porcentaje de cenizas volantes junto al enfriamiento de todos los áridos en pila y, posteriormente, en el camino hacia



la planta amasadora, la refrigeración de los áridos gruesos en túnel con lluvia de agua a 4°.

Los resultados fueron presentados en el Congreso de San Francisco en comunicación publicada en el último tomo, junto a las comunicaciones presentadas durante las sesiones.

Los datos recogidos desde más de doscientos termómetros de tipo PT-100 demuestran que la máxima elevación de temperatura por calor de hidratación no excedió de 12,3°, aproximadamente a las 60 horas de su colocación, sin posterior refrigeración.

La disposición en obra de cuatro silos de cemento y dos de cenizas, en previsión de tener que colocar alguna remesa en cuarentena, permitió también el enfriamiento del cemento que nunca llegó a la planta amasadora a más de 40° de temperatura.

Todas las superficies de hormigón expuestas fueron sometidas a una rigurosa inspección visual reseñándose las fisuras observadas en los diecisiete meses que duró el hormigonado. No se rebasaron los 3 ml de fisura por 100 m² de superficie observada salvo los meses de octubre y noviembre de 1987 en los que fue del orden de 7 ml/100 m².

El control del hormigón fue mecánico y total. Todos los datos de todas las amasadas se registraron y almacenaron en relación con las probetas de control que se rompieron a 3, 7, 28 y 90 días, por tríos. Se exigió una rotura superior a 150 kg/cm² a 90 días.

Cuando el resultado de la rotura de las dos primeras del trío de probetas a 90 días era insuficiente se reservó la tercera para romperla a 365. En todos los casos las cargas de rotura superaron los 250 Kg/cm².

Se extrajeron probetas testigo de 250 mm. de ϕ cuyas densidades oscilaron entre 2,35 y 2,60 con media de 2,49.

En su momento, el hormigón de la Presa de La Serena estuvo dentro de la tecnología más avanzada y fue colocado con una gran regularidad. Entre Febrero de 1987 y Abril de 1988, en quince meses, se colocaron 800.000 m³, con un mínimo de 33.000 en diciembre y máximo de 65.000 en julio de 1987.

Una visita a las galerías más profundas, las 3 y 3' es la mejor y más gratificante prueba de la impermeabilidad del hormigón que puede tenerse hoy.

Datos de la disposición, de la geometría de todos los elementos y de los procesos constructivos pueden verse en las publicaciones citadas y en las comunicaciones presentadas en las 59ª y 60ª Reuniones de Grandes Presas celebradas en Barcelona en 1989 y en Granada en 1992, respectivamente. En la reunión 59ª Barragán, González y Leal presentaron una comunicación sobre los órganos de desagüe y Castillo otra sobre el montaje de las compuertas Taintor del aliviadero de superficie.

Esta operación fue extremadamente singular, rápida y eficiente: las ocho compuertas de 11 x 6 x 8,50 con sus marcos, con peso total unitario de 30 toneladas fueron presentadas en coronación, donde se acoplaron los cojinetes de apoyo y se

pintaron y desde allí suspendidas y descendidas hasta abrochar en los muñones de apoyo. La maniobra de colocación duró solamente quince días; las dos últimas, con el equipo ya entrenado se colocaron en un solo día.

Es de destacar la ausencia de accidentes mortales durante todo el proceso de construcción; ninguno de los pocos accidentes sufridos dejó secuelas graves.

4. SINGULARIDADES

Algunos caracteres de esta gran obra además del volumen del embalse merecen destacarse y se resumen a continuación:

▼ 4.1.- Presa construida en el interior de un embalse que debía mantener un volumen mínimo durante la campaña de riego. Las obras en la presa estuvieron paradas por esta razón desde diciembre de 1985 hasta octubre de 1986. La instalación de los órganos de desagüe se hizo al alcanzar el hormigonado el nivel necesario en el bloque correspondiente.

De esta manera pudo almacenarse el agua con la propia presa en construcción desde el otoño de 1987 en que se procedió a cerrar los canales de desvío y en febrero de 1988 se embalsaron ya más de 200 Hm³. En diciembre de 1987 una avenida de 1.300 m³/seg pasó sobre diez bloques de la presa sin causar daños.

▼ 4.2.- En condiciones normales de explotación el pie de presa de aguas abajo estará sumergido bajo 35 m. de agua.

▼ 4.3.- Con una superficie máxima de 14.000 Ha no se inundó ningún núcleo de población ni huertos ribereños.

▼ 4.4.- No se emplearon explosivos en la excavación de cimientos en roca ni se construyeron juntas longitudinales en los bloques.

▼ 4.5.- El hormigón fue compuesto con 160 kg de aglomerante compuesto por un 60% de cemento frío y un 40% de cenizas volantes, la mezcla de polvos se realizó mecánicamente en la misma obra.

▼ 4.6.- Para el transporte y distribución del hormigón se utilizó un blondín de doble cable carril con torre en una sola margen que constituía el punto fijo. El punto móvil se resolvió con una viga carril curva e inclinada según la pendiente de la ladera. Al enhebrar los separadores la bicicleta de suspensión sin impacto se podía alcanzar una velocidad de traslación de 6 m/seg.

▼ 4.7.- Las galerías de inspección y acceso a cámaras de maniobra tienen una sección de 3 x 3 m. Las de los niveles 0, 1 y 2 tienen entrada desde el exterior, en los estribos a cuyas entradas se llega por caminos intercomunicados. A las 3 y 3' se llega por escaleras con rampa desde la 2. La 2 accede a la cámara de los desagües de fondo. La 1 a las tres cámaras de compuertas de los desagües de medio fondo, situadas en bloques alternos y capaces de dar paso a 360 m³/seg en to-

tal. En la 0 terminan los pozos de arcilla de la impermeabilización de juntas. Por cualquiera de ellas puede circular una camioneta con remolque, con un grupo generador o una zorrilla para llevar a taller cualquier elemento de los órganos de maniobra. Los conductos de aireación de las compuertas tienen 1 m. de ϕ . Todas las cámaras tienen compuertas submarinas para acceder desde ellas a la salida de los conductos de desagüe. Todas las válvulas están exentas. En pocos minutos se puede llegar a cualquiera de las compuertas que presente problemas con el equipo necesario.

Las operaciones de inyección de cimientos desde las galerías 3 y 3' gozaron de la insólita y extraordinaria facilidad prestada por la sección de las galerías. Tanto para la disposición y traslado de los aparatos de apoyo, como por el poder usar barrenas y tubos de 2 m. de longitud, acceso cómodo, iluminación potente, sitio para los elementos de achique, etc.

▼ 4.8.- Las compuertas Taintor del aliviadero de superficie son accionadas desde cuatro linternas en coronación que albergan los aparatos de maniobra de los mecanismos hidráulicos. Por el interior de la pila en que se apoya la linterna descende una escalera con las tuberías para el aceite que son de acero inoxidable a la altura de la mano. Al final de la escalera y ya en el exterior una pasarela recorre toda la longitud del aliviadero, con balconillos que abrazan las pilas y sirven de apoyo a las compuertas y a los gatos de accionamiento. Estos trabajan a expansión para elevar las compuertas y abrir el vertedero. En posición de reposo y a compuerta cerrada el vástago está sumergido en el aceite y, por lo tanto, protegido contra el efecto intemperie.

Un puente grúa sobre coronación, capaz de levantar 25 toneladas con 7 m. de brazo, tanto aguas arriba como aguas abajo, permite levantar una compuerta completa con sus brazos y situarla en coronación para poder efectuar cualquier reparación. Para permitir tal operación la calzada de coronación tiene 10 m. de anchura entre bordillos de acera y 13 m. entre barandillas.

▼ 4.9.- El Proyecto incluyó todo lo necesario para la entrega a la Administración de la obra completa, llave en mano, por lo tanto abarcaba toda la obra civil de excavaciones y hormigonado más todos los aparatos necesarios para el control y cierre. También todas las operaciones de restitución de comunicaciones: la construcción de 90 Km de nuevas carreteras y de 7 grandes viaductos con más de 3.300 m. de longitud total y alturas de pila de más de 60 m. Así mismo se construyó una desviación del ferrocarril Madrid-Badajoz de 1.500 m. de longitud.

▼ 4.10.- El presupuesto total de las obras fue de 12.000 millones de pesetas del que la tercera parte financió la restitución de comunicaciones. Las obras se iniciaron en la primavera de 1985 y fueron inauguradas, totalmente terminadas y funcionales a primeros de Febrero de 1990 por SSMM los Reyes de España. ●