

Los acueductos pretensados del Cigüela y Riansares del Tramo II del Acueducto Tajo-Segura

Por LUIS ZAPICO MAROTO

Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.
Ingeniero Director de las Obras

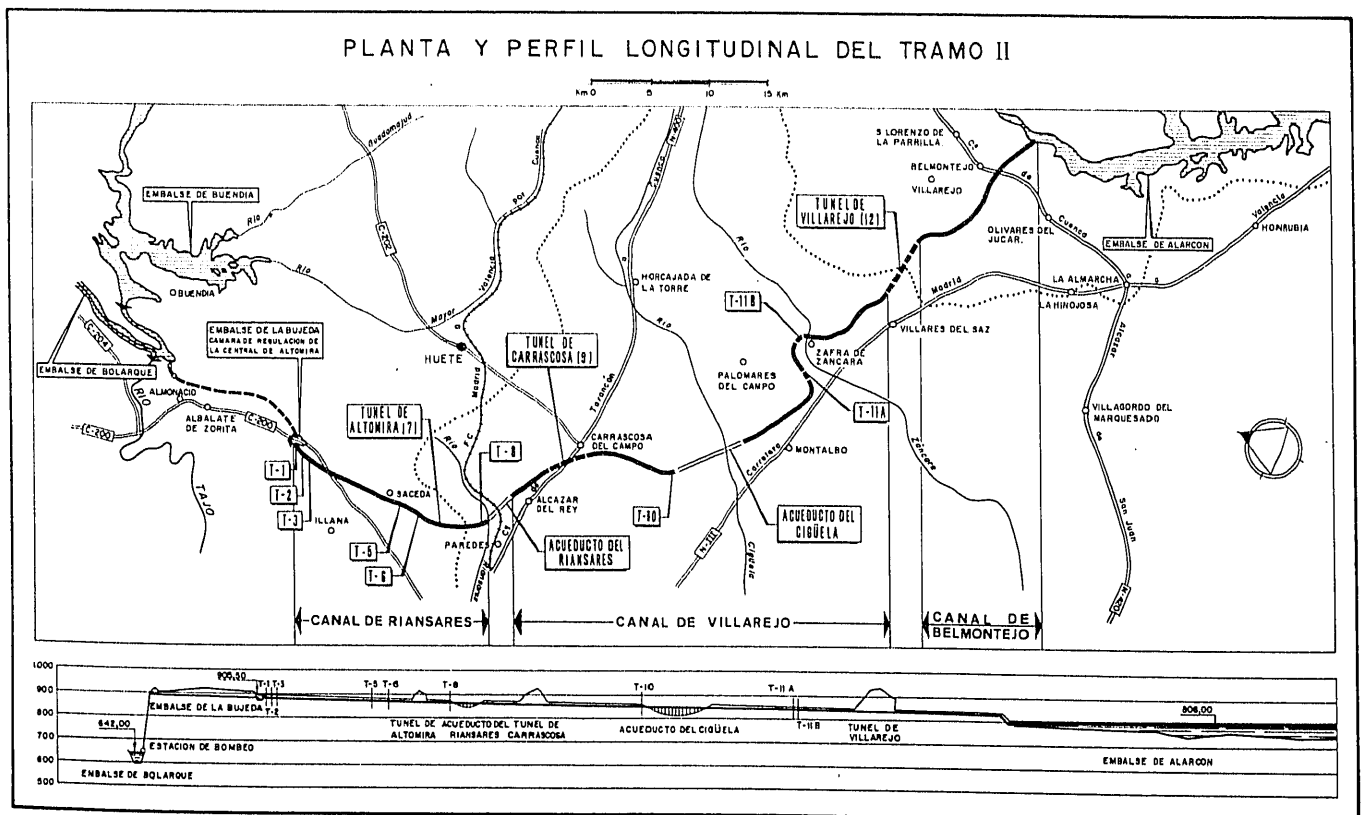
DESCRIPCION DE LAS OBRAS

El Tramo II del Acueducto Tajo-Segura que conduce las aguas del Trasvase desde el embalse de la Bujeda hasta la cola del embalse de Alarcón comprende dos acueductos pretensados cuyas longitudes totalizan 9.094 m. Estos acueductos se denominan, por los valles que atraviesan, del Cigüela y Riansares. El primero tiene una longitud de 6.227 m y el segundo de 2.867 m.

Ambos están formados por un mismo tipo de estructura consistente en pórticos múltiples hiperestáticos de 40 m de luz entre pilas y cuba recta de altura constante pretensada. Las pilas de forma rectangular, con 2,00 m de ancho por 5,60 metros de largo, disponen de dos lóbulos interiores huecos y de las oportunas entradas de inspección. El espesor de sus paredes longitudinales es de 0,25 m, el de las transversales de 0,30 m y el del

tabique interior de 0,15 m. Están construidas con hormigón armado mediante utilización de encofrados deslizantes. Su altura queda comprendida entre un mínimo de 10 m y un máximo de 48,50 metros. La sección transversal de la cuba, por donde ha de circular el agua, es trapecial y cerrada. Tiene una altura de 4,75 m, un ancho superior de 5,60 m y un ancho inferior de 2,50 m con 25 cm de espesor de pared. La pendiente una milésima, necesaria para transportar el caudal máximo del trasvase, 33 m³/seg., con un calado de 3,80 m. En el interior de su cuerpo de hormigón armado se alojan los distintos cables de pretensado en las correspondientes vainas metálicas introducidas en el proceso de hormigonado con este fin. El espacio comprendido entre los cables y sus vainas queda relleno por lechada de cemento.

Por encima de su tablero superior discurre el camino de servicio afirmado con hormigón bitu-



ACUEDUCTOS PRETENSADOS DEL RIANSARES Y CIGÜELA



tando el continuo contacto de la estructura con el terreno.

- Es mejor el funcionamiento hidráulico en lámina libre en el que no se producen las oscilaciones de caudal de puesta en carga.
- Se facilitan los pasos de servidumbre a través de la canalización.
- La técnica española incrementaría considerablemente su experiencia en la modalidad de construcción de estructuras pretensadas por dovelas prefabricadas.
- Por su tipología y proceso de construcción este acueducto podría dar lugar a un tipo de estructura tipificado susceptible de futuras aplicaciones.

En contra, sin embargo, actúan:

- Una cierta vulnerabilidad de la estructura.
- La dificultad de proceder a reparaciones substanciales en caso de avería sobre los procesos siempre más sencillos en el caso de un sifón apoyado continuamente sobre el terreno.
- Los riesgos inherentes en plazos y costes al adoptar una estructura y un proceso innovador con escasos antecedentes.

Y en uno y otro caso en la evidencia de tener que acudir a soluciones pretensadas, en el caso de sifón resultaban necesarios dos conductos de 3,20 m de diámetro, los riesgos propios de la aplicación del pretensado en obras hidráulicas de pequeño espesor, riesgos que seguirán presentes hasta que se disponga de suficiente experiencia respecto a la durabilidad de estas estructuras.

PROCESO DE CONSTRUCCION

Las obras se iniciaron en el acueducto del Cigüela en donde al tiempo de irse realizando la cimentación de las pilas se fueron preparando las instalaciones del parque de prefabricación y almacenamiento situado a la salida del paso del Cigüela.

Como quiera que los tramos de cuba compuestos de 11 dovelas abarcando los 40 m de distanciamiento entre ejes de pilas, se mantenían idénticos, excepción hecha de la posición de vainas en los que existía alguna mayor diversificación, se procedió a la fabricación por tramos disponiendo el parque de dos bancadas independientes servidas cada una por una central de hormigonado, una torre de movimiento de cazos y material ligero y un taller propio de ferralla. Los movimientos de equipo pesado, encofrados interiores, saca de dovelas de las camas al almacenamiento o car-

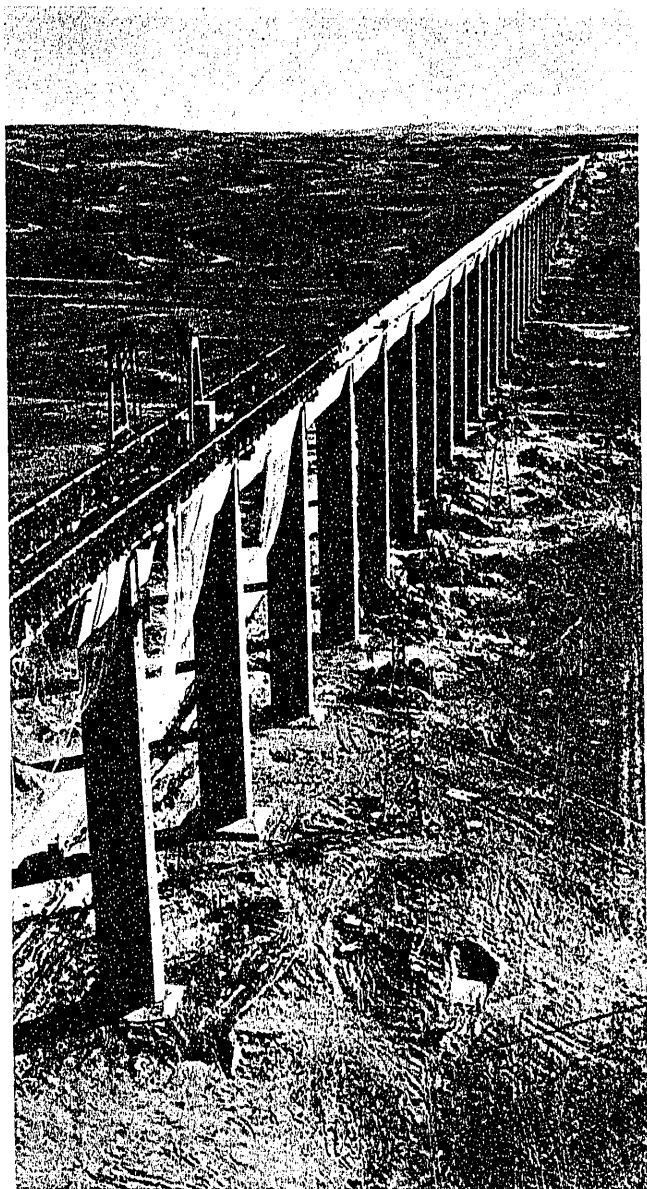


Acueducto del Cigüela. Parque de prefabricación

ga de dovelas para su transporte a colocación, se efectuaban contando con una grúa pórtico común. Asimismo, eran comunes las instalaciones de preparación de cables y las generales.

Las camas de prefabricación iban apoyadas sobre una estructura flotante y el hormigonado de las dovelas se realizaba contando con potentes vibradores adosados a las paredes metálicas del encofrado. En cualquier caso las dovelas se hormigonaban alternadamente de forma a obtener un sistema de caras conjugadas; es decir, aprovechando las caras hormigonadas de las contiguas como encofrado de la que se procedía a hormigonar, lo que estaba motivado por la necesidad de obtener el mejor encaje de detalles entre una y otra dovela en el momento de la colocación. Una estación de curado al vapor común producía vapor para introducirlo bajo las lonas de curado que cubrían cada dovela acelerando su endurecimiento y permitiendo la reutilización de la cama en el más breve plazo posible.

Las obras han sido realizadas por la Empresa Constructora S.A.T.O. Todos los equipos de la prefabricación fueron de diseño y construcción nacional. Los encofrados los suministró SOLIMAN,



Acueducto del Cigüela. Puente de lanzamiento

las estaciones de hormigonado eran marca SIRMISER y la grúa pórtico de almacenaje fue construida por TALLERES CADIZ, para una carga máxima de 100 Tn.

En la prefabricación se ha trabajado en jornada continua de veinticuatro horas dedicando las noches al mantenimiento del curado u operaciones auxiliares, especialmente en los meses invernales.

A medida que se terminaban las labores de cimentación se procedía a la elevación de las pilas utilizando encofrados deslizantes marca VIGIN. En total se dispuso de ocho equipos.

Tanto el hormigonado de pilas como el de zapatas estaba servido por una estación dosifica-

dora, marca GRAMIER, situada hacia la mitad del acueducto transportándose el hormigón mediante camiones hormigoneras.

Para la ejecución del pilotaje se dispuso de dos máquinas perforadoras dotadas con extractor helicoidal para los terrenos blandos superficiales y cuchillas percusoras para los restantes. Estas máquinas disponían asimismo de vaivén para facilitar la introducción de la camisa de perforación metálica. El hormigonado se realizaba mediante trompa sumergida en sentido ascendente y continuo al tiempo de la extracción de la camisa.

La colocación de dovelas, pesando cada una unas 40 Tn, se realizó con auxilio de un puente de lanzamiento de 120 m de longitud constituido por dos grandes estructuras en celosía arriostrada de cinco metros de canto que se deslizaban solidariamente sobre vigas provistas de rodillos apoyadas encima de las pilas. Este tipo de apoyo permitía avanzar la posición del puente de lanzamiento en dos fases. En la primera desplazaba su último tramo en voladizo hasta apoyarse mediante pescantes provistos de hidráulicos en la zona superior de la siguiente pila. A continuación, se colocaba la dovela de pila sobre apoyo epóxico y se realizaba el anclaje de dicha dovela con su pila. Luego se instalaba la estructura de rodaje apoyando el terminal del puente sobre dicho elemento rematándose la operación con el adelantamiento del puente a un sexto de su luz en voladizo, posición que facilitaba la operación de montaje de dovelas en el nuevo tramo cubierto por el puente de lanzamiento.

Dicho puente disponía de un pórtico grúa sobre carril que se desplazaba a lo largo de su longitud apoyándose en las dos vigas fundamentales. Con él se procedía al traslado de las dovelas que llegaban a su parte trasera provenientes del parque hasta su colocación en el tajo definitivo.

Las dovelas del parque de almacenamiento, tras una espera mínima de un mes para acentuar su proceso de retracción, eran sometidas a una limpieza con chorro de arena de sus caras conjugadas y cargadas sobre una góndola en las que se transportaban a lo largo del tramo ya construido del acueducto hasta alcanzar la parte trasera del puente de lanzamiento en donde eran recoídas por el pórtico del puente. La velocidad del transporte era de unos 10 Km/h. Dicha cuna pesaba 15 toneladas.

Al tiempo de situar la dovela en su posición definitiva se trataban las caras de pegado con resinas epóxicas y se procedía a introducir en la sección de pegado una tensión generalizada de un kilogramo por centímetro cuadrado con el doble objeto de lograr la más estrecha unión entre las dos caras de pegado expeliendo el material epóxico sobrante y de conseguir las condiciones tensionales de la sujeción de la dovela con indepen-

LOS ACUEDUCTOS PRETENSADOS DEL CIGÜELA Y RIANSAIRES DEL TRAMO II DEL...

dencia del pórtico del puente de lanzamiento. Este resultado se obtiene en la práctica fijando sendas vigas metálicas a la pieza que se va a colocar y que están enfrentadas con las correspondientes a la dovela anteriormente colocada. Por el interior de estas vigas discurren torones que son tensados mediante tuercas hasta imprimir el esfuerzo de compresión deseado. A partir de este momento se suelta la sujeción del pórtico grúa pudiendo desplazarse para otros cometidos.

La función que cumple la resina epóxida de pegamento es múltiple: por una parte, al rellenar los microhuecos de las caras en el pegado va a permitir tras su endurecimiento el más homogéneo reparto posible de las tensiones del pretensado; por otra va a reconstruir las resistencias a esfuerzos cortantes de las secciones de pegado en las que el monolitismo teórico de la viga cuba se ha roto a causa del despiece obligado por la prefabricación. Al mismo tiempo consigue la impermeabilización de la junta evitando las fugas del agua que se producirían al trabajar esta estructura como ecueducto.

Una vez endurecida la resina se procede al paso de los cables de pretensado y a su tesado definitivo. A este respecto hay que anotar que la disposición de los cables de tesado se corresponde con las distintas fases de la colocación de dovelas de modo que los tesados de los cables realizados hasta completar la colocación son una parte ya realizada del sistema definitivo, justo la necesaria para poder proseguir dicha colocación sujeta cada vez a mayores solicitaciones en voladizo. Las dovelas, por otra parte, se colocan equilibradamente a uno y otro lado de la pila de modo que no se induzcan flexiones más importantes de lo imprescindible en dichas pilas.

Así, se llega a completar el tramo de montaje cuando quedan colocadas las cinco dovelas a un lado y otro de las dos pilas que limitan el tramo. Queda entonces un espacio de unos 20 cm de separación entre las dos dovelas centrales que constituyen la junta húmeda, junta que ha de cerrarse mediante hormigonado "in situ".

En esta misma posición se sitúan las juntas longitudinales de dilatación constituidas por una banda de neopreno de 40 cm de ancho que se hormigona al tiempo de la prefabricación junto al extremo de la dovela central en donde va situada. Por ello, en los tramos que incorporan junta de dilatación la junta húmeda se establece separada de la de dilatación si bien en su proximidad.

Las juntas de dilatación separan los grupos de pórticos estructuralmente independientes que constituyen el acueducto. La separación mínima entre dichas juntas es de 80 ml, dando lugar a los pórticos de dos pilas proyectados para las zonas de menor altura a causa de la mayor rigidez de

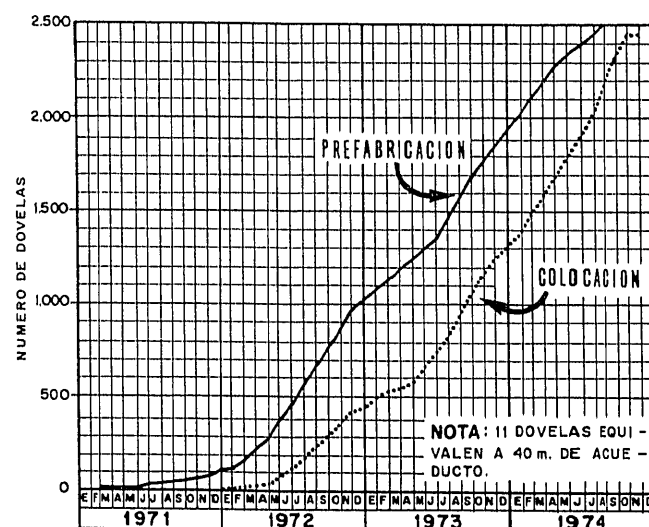
las pilas cortas en el conjunto estructural. La separación máxima es de 160 ml formándose entonces pórticos de cuatro pilas que se disponen, en general, en las zonas más elevadas sobre el terreno; si bien otra razón, la homogeneidad de cimentación, influye en la disposición de juntas de dilatación dada la conveniencia de agrupar las pilas de similar asentamiento en un mismo pórtico.

A partir del momento en que se termina la colocación de dovelas dentro del tramo limitado por cada dos juntas de dilatación se establecen anclajes y sujeciones provisionales que permitan el paso de los trailer y dovelas por encima, como lo exige la continuación del tajo de colocación, y seguidamente se procede al tensado de los cables superiores que constituyen una parte sustancial del tesado definitivo. Sigue, por último, la limpieza y relleno de vainas con lechada de cemento y el remate de la obra, montaje de barandillas, afirmado del camino superior, etc.

Entre el equipo utilizado en el montaje hay que señalar que se han empleado para el tensado los sistemas Freyssinet y que, en consecuencia, se han utilizado los gatos, prensas y equipo correspondientes.

INCIDENCIAS Y RITMOS ALCANZADOS

En gráfico adjunto se recoge la cronología del avance de la prefabricación y montaje de dovelas. En él puede observarse que el ritmo medio mensual de colocación asciende a 59 unidades. Este ritmo es diferente según se trate de la época invernal o no. En el primer caso alcanza un ritmo máximo mensual de 39 unidades al mes y en el segundo de 99 unidades al mes, correspondiendo aquél a un trabajo continuo durante las veinticu-



Ritmo de construcción de los acueductos Riansares y Cigüela.

tro horas del día y éste al limitado por las condiciones meteorológicas a una jornada normal.

Otro tanto sucede con la prefabricación habiéndose alcanzado una producción mensual máxima por cama de 64 unidades y mínima de 24 unidades con media anual de 419 unidades por cama y 838 unidades al año entre las dos camas de prefabricación del Cigüela.

Por otra parte, la elevación de pilas mediante encofrado deslizante ha venido progresando al ritmo medio diario de unos 4,30 m por cada equipo de trabajo y molde.

Vamos a comentar a continuación diversos aspectos específicos de la ejecución de estas obras.

El hecho de que la estructura se utilice para la conducción de aguas en lámina libre y el empleo de un proceso de prefabricación ha exigido labores de replanteo y topográficas de gran precisión mantenidas a lo largo de toda la obra. Así, el perfecto montaje de cada tramo exigía extraordinaria precisión en el montaje de la dovela de pila, pues cualquier desviación de ésta sobre su posición exacta se traduciría, con los 20 m de separación máxima del vano, en desviaciones incompatibles con una adecuada transmisión de esfuerzos en la junta húmeda, aparte de la discontinuidad hidráulica de pared y de los efectos visibles en la estética de la obra. Hay que indicar a este respecto que por lo costoso de la operación de deshacer el montaje de un tramo de cuba se han intensificado los controles topográficos, siendo normal realizar hasta tres nivelaciones distintas en la colocación de la dovela de pila antes de dar por válida su situación. Además, la presencia de frecuentes vientos a la altura de la cuba en ambos valles llegaba en muchas ocasiones a dificultar de tal manera dichos trabajos, por oscilación no sólo de aparato sino también de su base de sustentación en pilas altas sensibles por su elasticidad a los empujes originados por el viento, que en tales casos era necesario proceder a la detención de los trabajos para no arriesgar la posibilidad de un montaje defectuoso. Hemos de decir, finalmente, que en ningún caso ha sido necesario proceder a tal operación manteniéndose las tolerancias de montaje dentro de limitaciones muy satisfactorias, salvo en la elevación de pilas donde hubo que proceder a la demolición de tres de ellas por no cumplir las tolerancias previstas.

Otro aspecto singular de la realización de esta obra son las limitaciones impuestas a la aplicación de resinas epóxicas por las condiciones climáticas. Estas, en condiciones normales, limitan su empleo a temperatura ambiente por encima de los cinco grados. En esta obra era imprescindible para la utilización rentable de los costosos equipos puestos a disposición de la misma, el ampliar en lo posible la gama de utilización de las resinas

pues caso contrario no se podrían cumplir los plazos al tener que parar el montaje durante los meses invernales y los de lluvias. En consecuencia, se dispuso el empleo de lonas de cubrición de las dovelas de inminente empleo para evitar se mojasen las caras de pegado y el secado posterior de paredes con empleo de soplete de oxígeno acetileno manejado a conveniente distancia a intensidad para evitar calentamientos nocivos del hormigón. En cuanto a la limitación de temperaturas, como quiera que éstas ascendían durante el día para volver a descender otra vez por la noche, se estudiaron los efectos de distintos procesos de calentamiento de la zona de pegado y se actuó al mismo tiempo en la confección de mezclas de resinas y endurecedores que permitiesen sobrepasar los límites habituales. Así, los suministradores de las resinas, IMCISA con asesoramiento de la casa holandesa ROTOWA, propusieron mezclas que por sí solas permitían su aplicación hasta los dos grados. Por otra parte, los estudios realizados en la obra mostraron que una medida eficaz consistía en la introducción de fuegos de leña dentro del recinto de la dovela cerrando con lonas los frentes transversales. El mantenimiento de estas fuentes de calor permitía aprovechar otros dos grados centígrados evitando al mismo tiempo los efectos perjudiciales del descenso nocturno de temperaturas en los que se ralentizaba el endurecimiento sin detenerse. En este proceso se prefirió la leña al fuel-oil porque este último manchaba el interior de la sección, siendo luego muy difícil su limpieza. También se acudió al precalentamiento de los componentes cuidando de que la mezcla llegase al pegado con temperatura superior a los 25 grados para favorecer las constantes térmicas del principio del endurecimiento (luego el proceso es exotérmico y ayuda a mantener las temperaturas de endurecimiento siempre que exista una fuente de calor que contrarreste al menos parcialmente las pérdidas por enfriamiento). También se ensayó la protección de la línea de pegamiento con una bufanda rellena de agua caliente sin lograr un buen resultado aunque sí se comprobó la utilidad de cubrir la zona lineal de pegado aislándola lo más posible de la intemperie. Diremos, finalmente, que el endurecimiento de la resina se producía en veinticuatro horas en los casos más extremados de su aplicación, o sea, con temperatura ambiente exterior de cero grados ascendente en las horas de la mañana. En cambio, en tiempo de verano se empleaban formulaciones que evitasen su rápido endurecimiento consiguiéndose en tiempo normal fraguados a las dos horas.

Entre las incidencias, la más grave que se produjo en la obra tuvo lugar el 21 de febrero de 1973 y originó la suspensión del montaje en el Cigüela durante veintiocho días. El incidente se produjo al desprenderse una dovela de pila sobre el puente

de lanzamiento, como consecuencia de haberse partido por fatiga uno de los tensores de cuelgue. La dovela, frenada en su caída por la estructura del puente, no llegó a alcanzar a la estructura del acueducto, si bien deformó las vigas metálicas del puente de lanzamiento segando los apoyos del pórtico grúa de dicho puente. Una vez removida la dovela y reparado el puente se sustituyó este tipo de cuelgue por otro de mordaza que dio excelente resultado.

Diremos, finalmente, que esta avería del puente unida a los retrasos de montaje del acueducto del Cigüela aconsejaron el empleo de otro puente distinto para la ejecución del montaje del acueducto del Riansaires, puente de sólo 100 m de longitud, en el que se introdujeron diversas mejoras, resultado de la experiencia habida con el anterior y que funcionó a la perfección. También fue necesario dotar al parque de prefabricación del Riansaires de otra grúa pórtico para el almacenaje y del correspondiente trailer para el transporte de dovelas. El resto de los elementos procedió del parque del Cigüela desde donde se trasladó uno de los equipos de prefabricación en cuanto fue necesario disponer el principio de la prefabricación en el Riansaires.

COSTES E INVERSIONES

Desde el punto de vista económico hay que señalar que el coste a precios 1972 de este acueducto asciende a 587 M ptas., lo que supone un coste por ml de 64.500 pesetas. El coste medio de la cuba asciende a 26.100 pesetas por ml. El de pilas a 13.700 ptas./ml y el de la cimentación a 1,07 M ptas./m por cada unidad, de modo que refiriéndonos ya a la longitud total de acueducto, el 42,4 por 100 corresponde a la cuba, el 16,4 por 100 a la elevación de pilas y el restante 41,2 por 100 a la cimentación, que en este caso ha sido

especialmente costosa por las circunstancias desfavorables que concurrían en la misma; necesidad de pilotaje y de protección contra la agresividad de los terrenos.

Por otra parte, del esfuerzo financiero realizado por la contrata da buena idea la cifra a la que se han elevado las inversiones en maquinaria, instalaciones y equipo que alcanzaron las 140 M ptas.

CONCLUSION

La construcción de los acueductos pretensados del Cigüela y Riansaires con una longitud total de unos nueve kilómetros, altura máxima de pilas de 53 m, para un caudal de 33 m³/seg. constituye un logro importante entre las realizaciones hidráulicas de nuestro país. Los resultados de esta experiencia pueden resumirse en los siguientes comentarios:

- Se demuestra la competitividad entre las soluciones de acueducto y sifón pretensados para los valles tendidos de longitud superior al kilómetro.
- Se evidencia el interés de la solución prefabricada con montaje por dovelas por su carácter industrial y repetitivo, obteniéndose en el prefabricado cubas de inmejorable impermeabilidad.
- Los ritmos de montaje de 400 ml máximo mensual por equipo no son igualados en ningún otro sistema de construcción en acueducto.
- La tipificación de este tipo de obra podría dar lugar a una colección oficial de acueductos pretensados de sucesivas aplicaciones en el futuro.