

Acueducto-sifón sobre el río Guadalete

Encargado por la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Cíviles del proyecto y la ejecución de un puente-acueducto para el abastecimiento de Jerez de la Frontera, y terminada recientemente la obra, considero interesante dar a conocer algunas de sus características por los datos obtenidos sobre el comportamiento elástico del hormigón armado con cables de acero.

El puente está formado por once luces rectas de 20 m y una tipo «Cantilever» de 57 m.

La sección transversal es una caja constituida por dos paredes o cuchillos de 1,50 m de alto y 0,15 de

rantes de cable hormigonado que apoyan sobre la pila a una altura de 5,80 m sobre el tramo.

Los tramos que forman la cabeza de compresión de la ménsula llevan una rótula en la losa inferior sobre la pila, para suprimir los esfuerzos debidos a los cambios de temperatura o a los alargamientos elásticos del cable.

Tomando momentos respecto a esta rótula resulta una tensión en los tirantes de 200 t, que se resiste con cuatro cables de acero de 63 mm de diámetro, formados por siete cordones de 37 alambres cada uno. Estos cables son de 55 m de longitud y se solapan

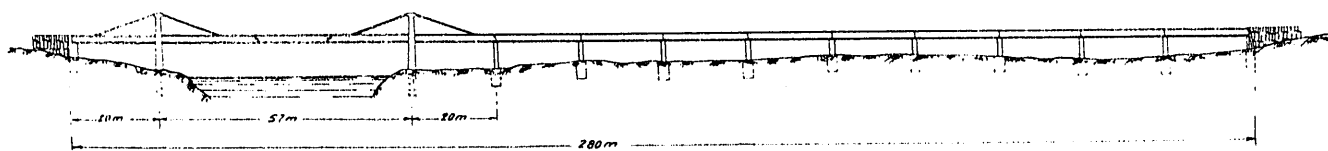


Fig. 1.º Acueducto de Tempul. Alzado general.

espesor, unidos por dos losas del mismo grueso. Sobre la inferior apoya la tubería de fundición por intermedio de camas de hormigón, y la losa superior sirve al mismo tiempo de pasadera y de cabeza de compresión del tramo.

La tubería de fundición, de 42 cm, queda así abrigada de la intemperie, es cómodamente inspecciona-

los de uno y otro lado dando la vuelta a la caja del tramo, que va reforzado en esta parte como se ve en las figuras 4.ª.

El esfuerzo de compresión, cuyo valor es de 190 t, se transmite por los tramos y se concentra en la semi-articulación que sobre la pila forma el tope entre las dos losas inferiores, cuyo espesor aumenta aquí a 30 cm. La articulación consiste solamente en una chapa de plomo de 1,60 x 0,30 m y 0,02 m de espesor. El hormigón en las proximidades de esta junta va

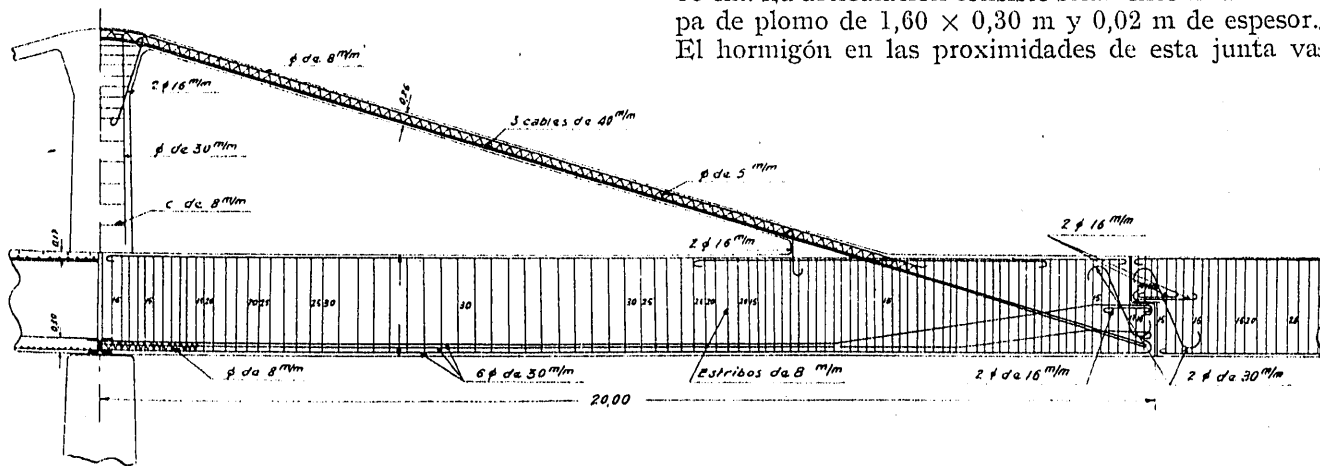


Fig. 2.ª Detalle del extremo del tramo principal.

ble, y para facilitar la reposición de sus tubos se han dispuesto aberturas cada 20 m en la losa superior, tapadas normalmente con losas de hormigón.

Los tramos cubican 1 m³ por metro lineal, tienen un peso de 3 000 kg incluida la sobrecarga, y van armados con seis redondos de 30 mm a cada lado. Para facilitar el hormigonado de las paredes no se han dispuesto barras levantadas, sino solamente estribos verticales.

La particularidad de la obra está en la luz principal formada por dos ménsulas de 20 m de voladizo y un tramo central de 17 m apoyado en ellas. Cada «cantilever» o ménsula está constituido por dos tramos de 20 m; análogos a los descritos, unidos por ti-

zunchado en la parte central de la losa, de modo que sólo el área zunchada puede resistir la carga total de compresión.

Con objeto de equilibrar las ménsulas se disponen en sus extremos exteriores masas de hormigón de contrapeso de 43 t por el lado del estribo y de 10 t solamente por el otro lado, donde se aprovecha el peso del tramo siguiente. Además se han dispuesto anclajes a la pila por este lado y al estribo por el otro, que sin impedir los movimientos horizontales debidos a cambios de temperatura aumentan el coeficiente de seguridad al vuelco.

El empuje del viento a razón de 150 kg/m² produce un momento de flexión de eje vertical que afecta

a los cables y a la articulación de los tramos; pero como en esta articulación los esfuerzos se concentran en la parte central por efecto del zunchado, la flexión se transmite principalmente a los cables que se han calculado para resistir íntegramente la totalidad del

ron disminuyendo al aumentar la carga, no pasando al terminar de 2 cm, con levantamientos iguales en los dos lados, prueba evidente de la gran uniformidad de elasticidad del material.

La elevación total en la cabeza de la pila fué de 40 cm, y en la punta del tramo-ménsula, 5 cm; lo que representa un alargamiento total de 0,15 m, o sea el 1 por 100, alargamiento nada exagerado si se tiene en cuenta que los cables en la posición inicial estaban simplemente apoyados sin tensión ninguna y difícilmente alineados.

Al sobrecargar el tramo con 600 kg por metro lineal se acusó un descenso de 0,020 m, de donde resulta un coeficiente de elasticidad del cable de 2 100 000 kg/cm³, cifra muy importante, pues señala la posibilidad de que el hormigón siga elásticamente al cable en sus deformaciones, una vez tensado y bien empotrado en sus extremos.

Los cables, como hemos dicho, están formados por un cordón central de 37 hilos de acero dulce y otros seis cordones análogos en hélice de acero alto en carbono, y han sido suministrados por la Sociedad José María Quijano, Forjas de Buelna, en cuyo honor hacemos esta referencia.

Del mismo modo diremos que toda la estructura se ha hecho con cemento Sansón, dosificado el hormigón a 300 kg/m³, excepto en las articulaciones, donde se aumentó a 400 kg.

Después de descimbrado y sobrecargado el tramo se retiró la cimbra y se esperó veinte días, observando durante este período las deformaciones plásticas de los cables, que se amortiguaron completamente en diez días y que alcanzaron en total al 0,08 por 100. Después de esto se hormigonó por partes los huecos que quedaban entre las pilas y sus cabezas, retirándose los gatos, y se vertió lechada por los pozos en que quedaban alojadas las barras verticales de la armadura.

Inmediatamente se procedió al hormigonado de los cables, colgando el molde de éstos para que la pieza no sufriera esfuerzo inicial ninguno de flexión. Para mayor seguridad se dejaron dos juntas próximas a

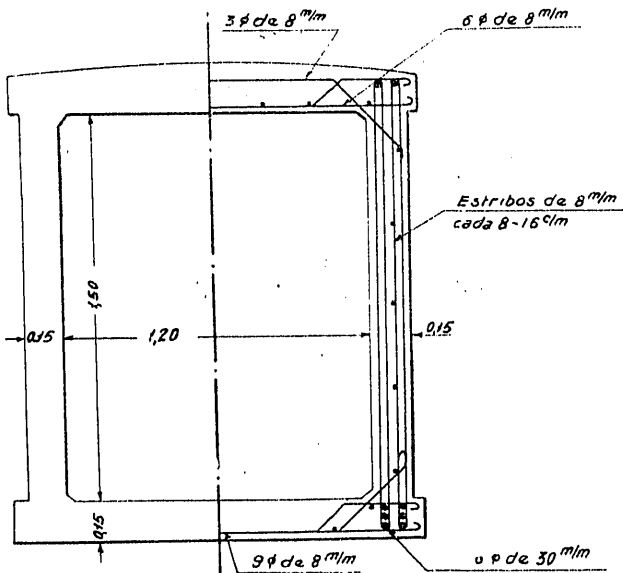


Fig. 3.ª Detalle de las armaduras de la sección normal.

esfuerzo, que representa una sobrecarga de un 25 por 100 en los esfuerzos producidos por la carga normal.

La dificultad principal de construcción está, al parecer, en tensar el cable para que al entrar en trabajo no ceda excesivamente. Pero esto se resolvió con toda facilidad por el siguiente procedimiento: la cabeza o parte superior de la pila se hormigonó separada del resto de tal modo que pudiera desplazarse verticalmente, para lo cual las armaduras verticales quedaban libres en tubos preparados al efecto y los cables apoyaban sobre camas de palastro empotradas sobre la cabeza de la pila.

Pasado el mes de fraguado de los tramos se levantaron las cabezas de las pilas con gatos hidráulicos, tensando con ello los cables hasta hacer despegar los tramos de la cimbra, y se enclavó la obra terminando de hormigonar las pilas y haciendo el revestimiento de los cables.

Daremos algún detalle más de la operación. Los gatos hidráulicos eran dos por pila, de 60 t, e iban alojados en cajas preparadas al efecto. Sobre los extremos de los tramos-ménsulas se colocaron referencias para anotar no sólo los desplazamientos verticales, sino también los horizontales y de torsión que pudieran sufrir los tramos por la tensión desigual de los cables, pues la preocupación principal que llevábamos era la posible desigualdad de elasticidad entre ellos.

Pero, afortunadamente, estas diferencias de elasticidad de unos cables a otros fueron despreciables. Como los cables se disponen más separados sobre la pila que en los extremos donde se unen a los tramos, al entrar en tensión tendían a centrar la cabeza de la pila, y si se tensaban más los cables de un lado, automáticamente la cabeza se desplazaba hacia el otro lado, acusando la desigualdad de tensión, que se corregía haciendo avanzar más el gato correspondiente; pues bien: los desplazamientos horizontales que alcanzaron al principio de la operación a 5 ó 6 cm fue-

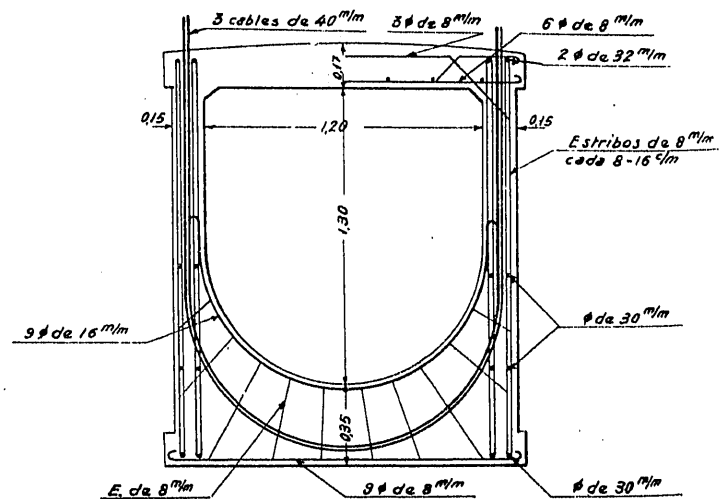


Fig. 4.ª Unión del tirante con el tramo.

los extremos del tirante y se hormigonaron después de quince días, formando zunchos de mortero rico con una ligera armadura para asegurar la junta.

Otro dato importante es que con una elevación de temperatura diurna de 20° el tramo central descien-

de 0,027 m, acusando una diferencia de alargamientos unitarios entre el tirante y el tramo de 0,00073, y, por consiguiente, una diferencia de $6,5^\circ$ entre las temperaturas medias alcanzadas por uno y otro, lo que señala la importancia de este fenómeno, que por lo general no se tiene en cuenta en los esfuerzos secundarios de las estructuras de hormigón. En muchos casos la diferencia de temperatura de una parte a otra de una estructura tiene mayor importancia que la variación de temperatura general de todo el sistema.

Como al descargarse la tubería (única diferencia posible de sobrecarga en esta obra) la tensión en el tirante baja de 100 t a 80 t, y esta diferencia la absorbe el hormigón en forma de compresión, y siendo la sección del tirante $0,20 \times 0,25$ m, resulta una carga de 40 kg/cm^2 . A primera vista, en una pieza tan larga y estrecha esta compresión parece suficiente para producir el pandeo, pero en seguida se comprende que no hay peligro ninguno por este lado desde el momento en que el esfuerzo total de la pieza es siempre de tensión.

Para completar la descripción de la obra diremos que la cimentación de las pilas es directa a 4 m de profundidad, excepto en las dos pilas de la luz principal, cimentadas con ocho pilotes de hormigón cada una, de 8 m de largo. Estos pilotes atraviesan un terreno muy flojo y van a hincarse por un lado en la arcilla y por otro en una marga muy dura, que por presentar un buzamiento muy fuerte producía en los pilotes cierta tendencia al deslizamiento al terminar la hinca; para impedirlo y asegurar completamente la cimentación se emplearon con éxito las inyecciones de morteros y lechadas de cemento, defendiendo

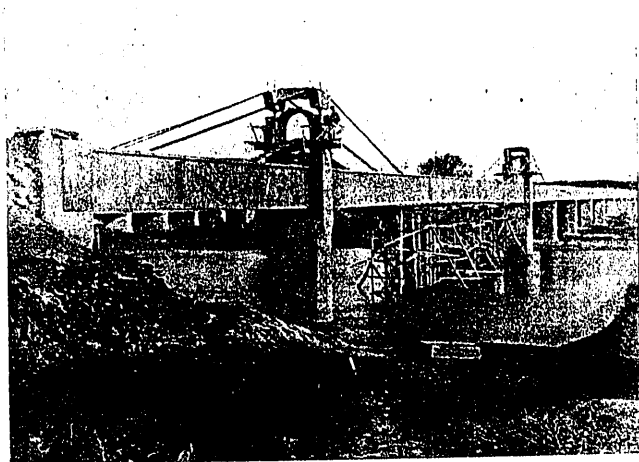


Fig. 5.ª Vista general del puente, antes del descimbramiento.

antes el terreno con un ligero recinto de estacas por el lado del río y con una losa de hormigón y gaviones por encima; una vez hecho esto se inyectaron 3 m^3 de mortero, a una presión media de tres atmósferas, con un pequeño inyector de 3 CV de potencia sola-

mente, logrando con ello endurecer el terreno y sujetar completamente los pilotes.

Y terminaremos con algunos datos de precios y fechas:

La obra se contrató por 240 720 pesetas, o sea a 1 350 pesetas por metro lineal; los trabajos se comenzaron en otoño, construyendo a una marcha mo-

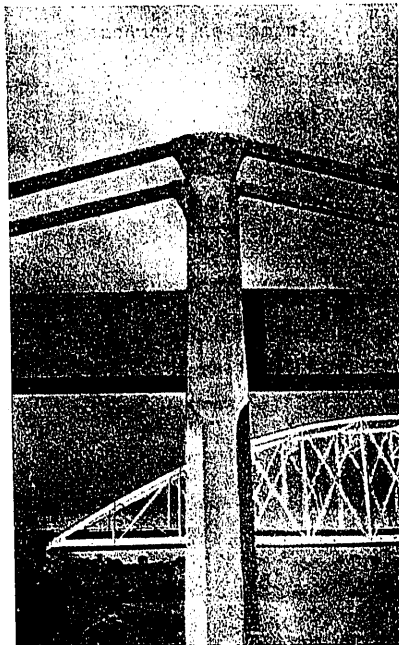


Fig. 6.ª Vista de una pila del tramo principal.

derada toda la parte que quedaba fuera de avenidas ordinarias y reservando para el verano la parte de la luz principal; el 10 de mayo, considerando pasado el peligro de avenidas, se empezó a cimentar esta parte; el 18 de junio se comenzó la hinca de pilotes para apoyo de la cimbra; el 24 de julio el hormigonado del primer tramo y el 26 de septiembre se terminó de hormigonar el último. El 28 de octubre, ante el peligro de una avenida, se tensaron los cables dejando el puente virtualmente descimbrado y en condiciones de utilización; el 19 de noviembre, pasado el temporal de lluvias, se terminó el descimbramiento y nivelación; el 12 de diciembre se enclavaron las pilas, y el 15 de enero las juntas del hormigonado de los cables, dejando la obra completamente terminada y repasada, aunque el plazo de ejecución no termina hasta octubre próximo.

Dejaría de ser buen compañero si no nombrara aquí al ingeniero de Caminos D. Francisco Ruiz Martínez, que ha dirigido en obra todos los trabajos, y al perito mecánico D. Ricardo Barredo, que ha llevado la parte mecánica del descimbramiento y de las inyecciones, a quienes agradezco vivamente su eficaz colaboración.

Eduardo TORROJA
Ingeniero de Caminos