

NUEVOS PUENTES EN CADIZ

Por LUIS MARTINEZ IZQUIERDO

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Licenciado en Ciencias Exactas.

En la provincia de Cádiz se han construido en estos últimos años de 1961 a 1964, por la Jefatura de Obras Públicas, cuatro puentes, en sustitución de otros antiguos, que por sus características no podían servir al creciente tráfico de carretera. Quisiéramos en este artículo hacer una descripción muy somera de las obras, orientándolas a comparar la solución de hormigón pretensado con la de hormigón armado, llegando al precio de coste por metro cuadrado de tablero construido.

Rasgos comunes.

La situación geográfica impone unas directrices que han condicionado el proyecto de los cuatro puentes. Están situados en carreteras próximas al mar, cruzando ríos o caños, cercanos a su desembocadura, en valles muy abiertos, con un paisaje horizontal y, por consiguiente, con pequeña diferencia de cota entre el máximo nivel de las aguas y las rasantes de las calzadas. Por otra parte, el suelo soporte está formado en todos ellos por depósitos aluviales de fangos, bajo los cuales aparecen unas arenas arcillosas.

Por ello, el esquema estructural es el mismo: tramos rectos isostáticos sobre pilas y estribos de pequeña altura con cimentación profunda de pilotes, procurando las mayores luces de vanos.

Los cuatro se han construido con vigas de hormigón pretensado, y en tres de ellos el proyecto primitivo empleaba el hormigón armado. Solamente el puente sobre el Caño de San Pedro, de proyecto más reciente, se estudió desde el primer momento con hormigón pretensado. En los otros tres se cambió de solución con las obras en marcha y conformidad de las empresas constructoras.

Esta circunstancia ha permitido comparar los costes de obras terminadas con los presupuestos primitivos, y, al mismo tiempo, estos cuatro puentes análogos, con luces entre 16,00 m. y 28,50 m., construidos por empresas distintas, en un período de tiempo corto, proporcionan un coste del metro cuadrado de puente terminado de este tipo.

Para los cuatro, se han empleado en el cálculo, los trenes de sobrecargas números 3 y 4, de carros de combate de 60 Tn., de la "Instrucción para el cálculo de tramos metálicos" del 17 de julio de 1956, vigente. El hormigón para pretensar se ha definido por su resistencia característica, con valores de 260 a 280 Kg./cm.² y la

resistencia a rotura a tracción de los alambres de acero especial por valores comprendidos entre 14 500 Kg./cm.² y 16 000 Kg./cm.², como luego se indicará en la descripción de cada puente.

Razones que han motivado la solución de hormigón pretensado.

PREFABRICACIÓN.

Ventaja de la solución pretensada es la prefabricación con la posibilidad de controlar elementos aislados y la agilidad en poder rechazar posibles piezas defectuosas.

TERMINACIÓN.

El empleo de encofrado de buena calidad, del tipo metálico, trae por consecuencia un mejor acabado de paramentos.

MENOR PESO.

Siendo más ligeros los tableros de hormigón pretensado, se alivia la carga en las cimentaciones.

MAYOR DESAGÜE.

La disminución del canto de las vigas no sólo aumenta el desagüe, sino que facilita la navegación.

SUPRESIÓN DE CIMBRAS.

El lanzamiento de las vigas prefabricadas permite reducir e incluso suprimir las cimbras, lo cual tiene importancia en ríos como los de esta provincia, con violentas avenidas.

PUENTE DE SAN ALEJANDRO

Comienza la descripción de las obras por este puente, el más importante y el más construido primeramente. Está situado en la carretera N-IV de Madrid a Cádiz en el kilómetro 655. Forma parte de la variante para mejorar la travesía del Puerto de Santa María y sustituye a un antiguo puente metálico, como puede verse en la fotografía 1.^a. Se proyectó con tres circulaciones, pues da servicio a un tráfico importante, medido por 4 700 de I.M.D. según los aforos de 1964.

El esquema geométrico se representa en la figura 1.^a. Se aprecian dos tramos de mayor luz junto a siete menores, y hubo que construirlos para la navegación de gabarras por el río Guadalete. Asimismo, se tuvo que modificar la distribución de pilas para coordinar con el nuevo puente que la RENFE contruye inmediatamente

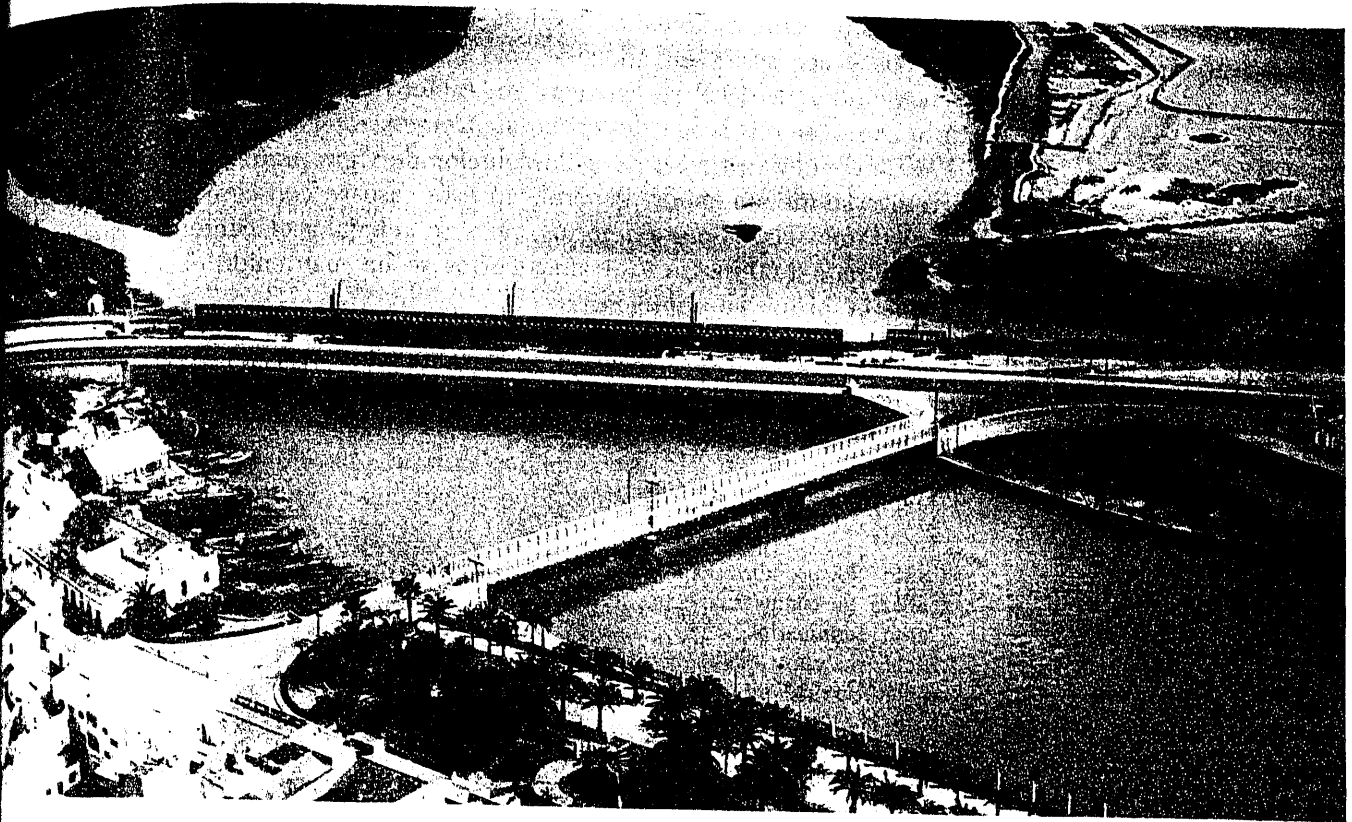


Foto 1.^a — Puente de San Alejandro.

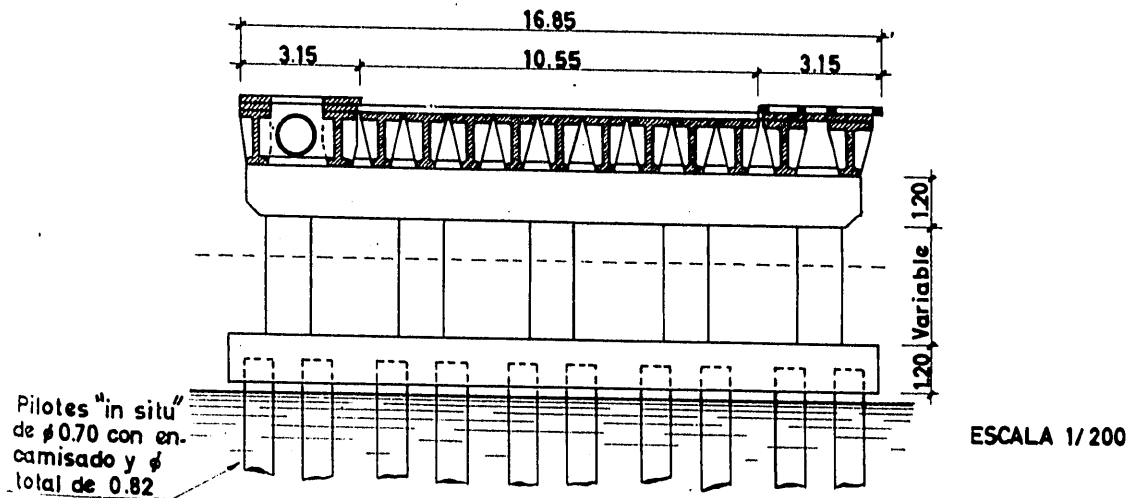
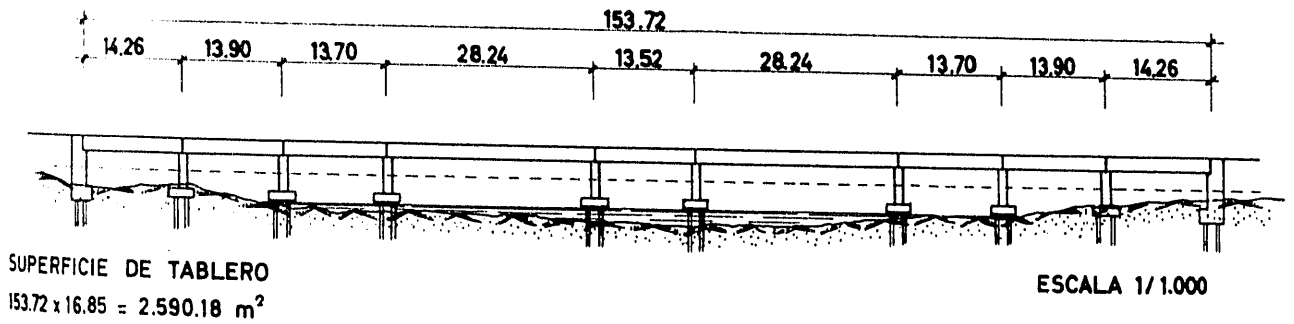


Fig. 1.^a — Puente de San Alejandro sobre el río Guadalete, en el Km. 655 de la CN-IV, de Madrid a Cádiz.

aguas arriba. Por estos motivos se desglosó el tablero del proyecto de cimentación, pilas, estribos y accesos, y en adelante sólo hablaremos del tablero en este puente.

En noviembre de 1959 se proyectó un tablero de hormigón armado con vigas de distinto canto, según la luz de los vanos. Comenzadas las obras se redactó, en julio de 1960, un nuevo proyecto con la solución de vigas pretensadas. Además de las razones indicadas de un modo general, en este caso se conseguía una misma línea de vigas en tramos largos que en cortos, pues se rebajaba el canto de hormigón armado de 2,20 m. a 1,60 m. En los tramos cortos se ha mantenido el mismo canto de 1,60 que en la primitiva solución.

Soporta la tubería de abastecimiento de aguas a la zona gaditana.

Se indican las principales características.

Viga doble T de alas desiguales.

Canto de prefabricación	1,38 m.
Cabeza de compresión	0,22 »
Canto terminado	1,60 »
Ancho de ala superior	1,15 »
Ancho de ala inferior	0,40 »
Espesor del alma	0,18 »
Diámetro de los alambres de pretensado	5 mm.
Situación de los alambres	Exterior al alma.
Sistema de pretensado de alambres	Sistema inglés P.S.C. que permite el tesa- do de alambre por alambre.

Materiales.

Resistencia característica del hormigón para pretensado.	$R_k = 280 \text{ Kg./cm.}^2$.
Resistencia de rotura a tracción del acero de los alambres	14 500 Kg./cm. ² .

Prefabricación.

Hormigonado de las vigas en taller de obra, en toda su longitud, lo que viene obligado por las armaduras de compresión del proyecto.

Lanzamiento.

Las veintiséis vigas de 28 m. cada una de 33 Tn. de peso y las 91 vigas de 14 metros de 19 Tn., se llevaron al puente por medio de carretones sobre neumáticos y se pusieron en su posición con el auxilio de vigas de montaje sistema Roglá.

Forjado.

Construcción *in situ* formando la cabeza de compresión y unión de las vigas.

Comparación del coste de liquidación con el presupuesto.

Se compara el coste de la solución tablero pretensado con el presupuesto primitivo de hormigón armado. En estas cantidades se incluyen las aceras y las barandillas, aparatos de apoyo y juntas de dilatación, pero no el pavimento de la calzada.

Tablero de hormigón pretensado	11 985 452,21 Pesetas.
Tablero de hormigón armado	11 233 252,68 »
Aumento	752 199,53 Pesetas.

que representa un 6,7 por 100 sobre el presupuesto de hormigón armado. Con una superficie de 2 590,18 m.², el precio del tablero pretensado en 4 627,27 pesetas.

Se emplearon 1 840,295 m.³ de hormigón pretensado, sumando el prefabricado con el colocado *in situ*, con un coste de 10 818.021,17 pesetas.

El precio del metro cúbico de hormigón pretensado terminado es de 5 878,42 pesetas.

Coste total y puesta en servicio.

La liquidación, incluyendo pavimento, asciende a 12 127 877,57 Pesetas.

Se puso en servicio el tablero en noviembre de 1962.

PUENTE DE SAN PEDRO

Está situado como el anterior en la carretera N-IV, en el Km. 659. Cruza el caño de San Pedro y sustituye a un puente metálico del siglo pasado. El caño de San Pedro es un antiguo brazo de la desembocadura del río Guadalete, y actualmente no tiene comunicación con el río y da entrada y salida a las aguas del mar que se utilizan en las salinas que abundan en la bahía gaditana. Se pensó en la construcción de un terraplén con caños proporcionados al caudal a servir, pero la naturaleza del fondo del caño prohibió esta solución, pues la fluxión de los fangos podría dañar la cimentación del puente de carretera en servicio y de un puente del ferrocarril Madrid-Cádiz, paralelo al anterior (foto 2.^a). El proyecto es de febrero de 1962.

Sus dimensiones y disposición de la sección transversal se aprecian en la fig. 2.^a.

Como el anterior, lleva en una de sus aceras la tubería de abastecimiento de agua.

A continuación se resumen las características del tipo de estructura pretensada.

Vigas doble T de alas desiguales.

Canto de prefabricación	1,38 m.
Cabeza de compresión y forjado del tablero	0,22 »
Canto terminado	1,60 »
Ancho del ala superior	1,15 »
Ancho del ala inferior	0,40 »
Espesor del alma	0,18 »
Diámetro de los alambres de pretensado	5 mm.
Situación de los alambres	Exterior al alma (sistema inglés P.S.C. de pretensado, que permite el tesado de alambre por alambre).

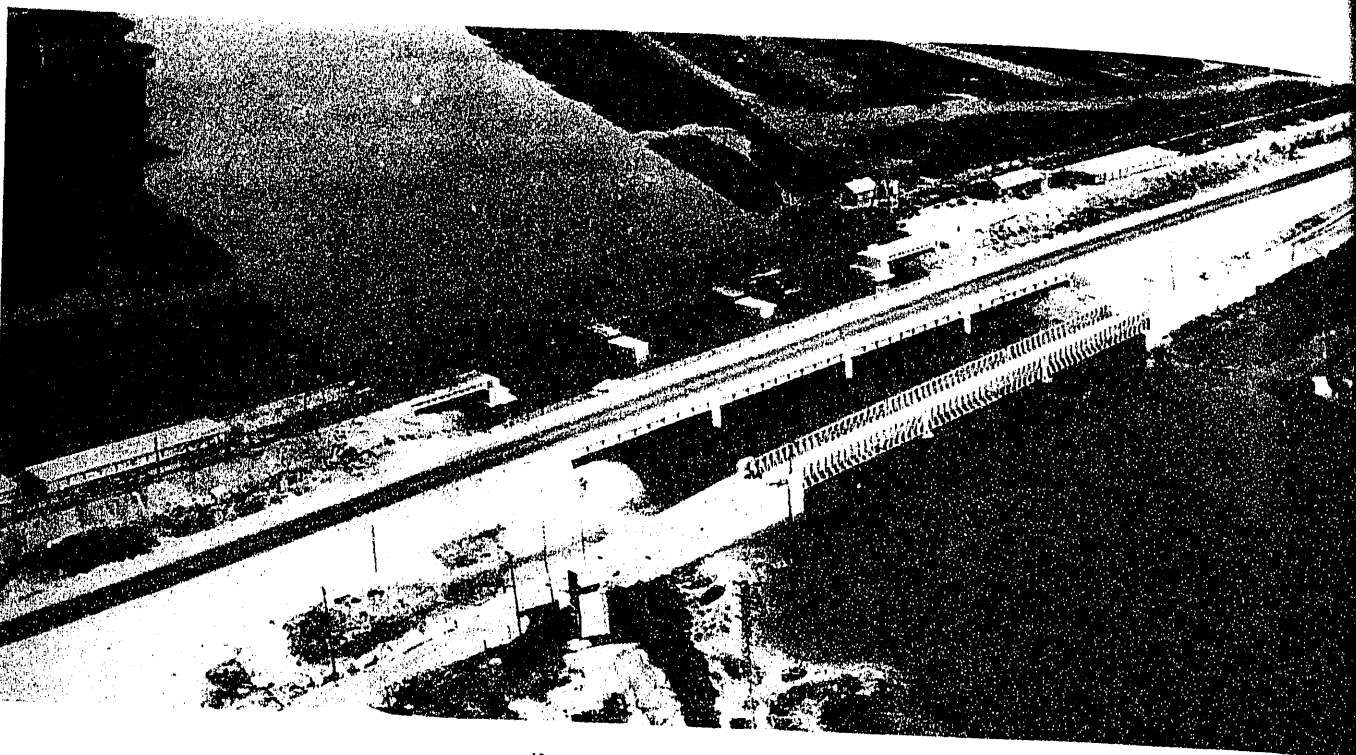
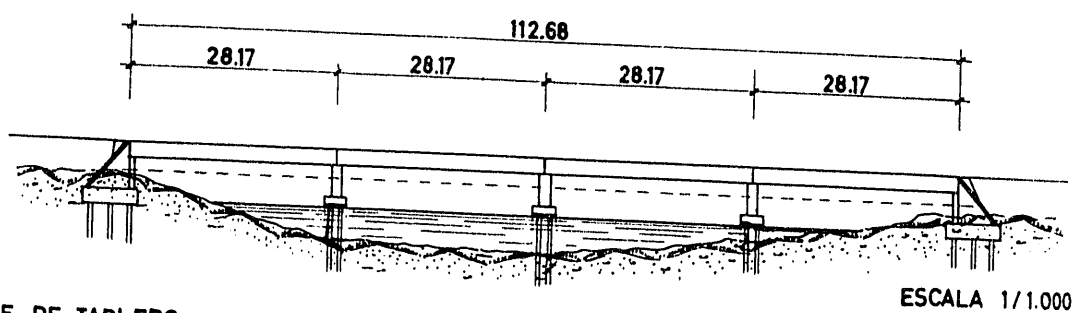
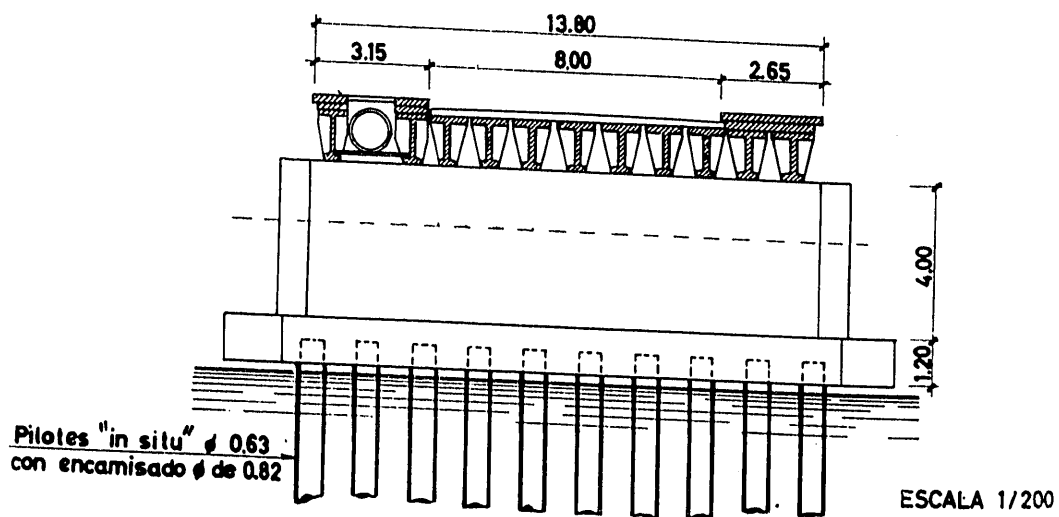


Foto 2.^a — Puente de San Pedro.



SUPERFICIE DE TABLERO
 $112.68 \times 13.80 = 1.554,98 \text{ m}^2$

ESCALA 1/1.000



ESCALA 1/200

Fig. 2.^a — Puente sobre el caño de San Pedro, en el Km. 659 de la CN-IV, de Madrid a Cádiz.

Materiales.

Resistencia característica del hormigón para pretensado. 280 Kg./cm.².
Resistencia de rotura a tracción de los alambres 14 500 Kg./cm.².

Prefabricación.

Construcción de las vigas en toda su longitud.

Lanzamiento.

Las cuarenta y cuatro vigas de 28 m. con 33 Tn. de peso cada una, se pusieron en su lugar con el auxilio de vigas de pirámides Roglá, usadas éstas como elemento resistente inferior de la vía de traslado, mientras que en el puente anterior se utilizaron como elemento superior del cual colgaban los carretes de montaje.

Forjado.

Construcción *in situ*, uniendo las vigas.

Coste del tablero.

En este puente no cabe la comparación con la solución de hormigón armado, pues se proyectó directamente de hormigón pretensado. En el coste se incluye la compensación económica sobre la obra ejecutada después del 1 de enero de 1963.

Tablero de hormigón pretensado	8 258 475,06 Pesetas.
Precio del metro cuadrado (s./ 1 554,98 m. ²)	5 310,98 »

Se emplearon 1 041 750 m.³ de hormigón pretensado con un coste de 7 400 748,48 pesetas. El precio del metro cúbico terminado es de 7 104,15 pesetas.

Coste del puente.

Se incluyen las pilas, estribos, aletas, con sus cimentaciones de pilotes *in situ*, de ϕ 0,63 m. y longitud media de cada pilote 28,68 metros.

Total	17 424 316,11 Pesetas.
Precio del metro cuadrado (s./ 1 554,98 m. ²)	11 205,49 »

Coste total y tiempo de puesta en servicio.

El puente y sus accesos forman una variante de 998,34 m. de longitud. El coste total asciende a 31 372.128,08 pesetas.

Las obras empezaron en octubre de 1962. Los trabajos de cimentación del puente dieron comienzo en febrero de 1963. Se dio paso al tráfico en enero de 1964.

PUENTE DE SAN MARTIN DEL TESORILLO

Está emplazado sobre el río Guadiaro, en el Km. 10 de la carretera local que une la carretera comarcal 3331 de Olvera a San Roque con la carretera nacional 340 de Cádiz a Barcelona por Málaga. Esta carretera local da acceso al pueblo de San Martín del Tesorillo en una zona de regadío de las más importantes de la provincia, con cultivos de arroz y naranjos. El puente reemplaza a una pasarela de pilas de madera que no reunía condiciones. El proyecto primitivo es de julio de 1961 y comenzadas las obras se cambió la solución de tablero.

En la foto 3.^a se recoge un aspecto del puente, y la figura 3.^a proporciona geometría.

Como en las anteriores obras, se detallan las características del pretensado.

Viga doble T de alas desiguales.

Canto prefabricado	1,40 m.
Ala superior	0,80 »
Espesor medio del ala que constituye el tablero	0,17 »
Ala inferior	0,32 »
Espesor del alma	0,10 »
Diámetro de los alambres de pretensado	3 mm.
Situación de los alambres interior al alma.	
Sistema Barredo de pretensado.	

Materiales.

Resistencia característica del hormigón para pretensado.	260 Kg./cm. ² .
Resistencia de rotura del acero de los alambres	16 000 Kg./cm. ² .

Prefabricación.

Las vigas se construyeron por dovelas, que luego se empalmaban con los cables de tesado en el taller sobre el terraplén del acceso.

Lanzamiento.

Las 50 vigas, cada una de 20 Tn. y 18 m. de longitud se colocaron mediante dos castilletes situados en los extremos de cada vano.

Forjado.

Los constituyen las cabezas de las vigas prefabricadas. Una vez éstas en su lugar se cosieron por un pretensado transversal.

Comparación del coste con el presupuesto.

Se compara el coste del tablero con hormigón pretensado con la solución de hormigón armado. Como anteriormente, se incluyen aparatos de apoyo, aceras y barandillas, pero no el pavimento de calzada.

Los precios tuvieron un 18 por 100 de aumento a partir del 1 de enero de 1962.

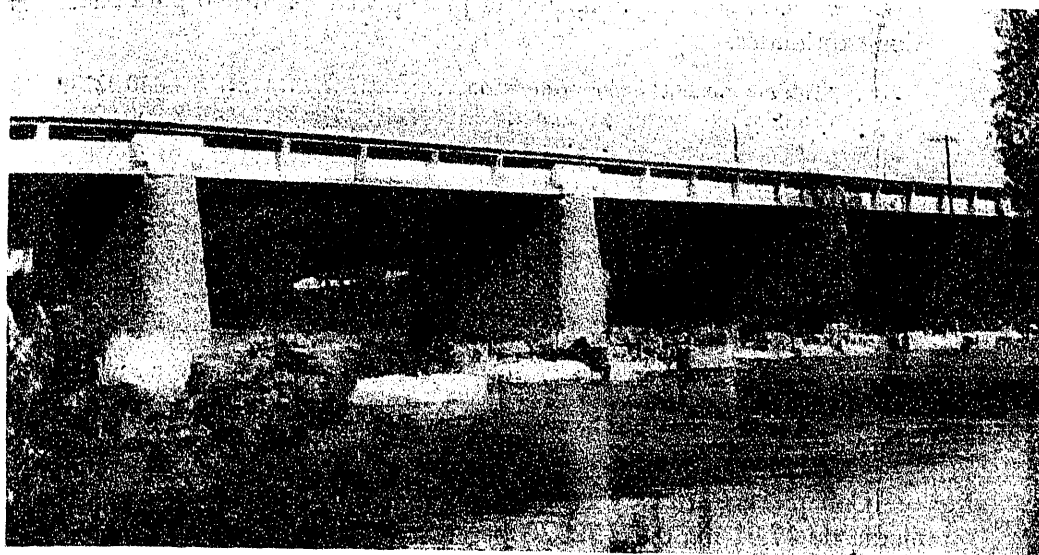
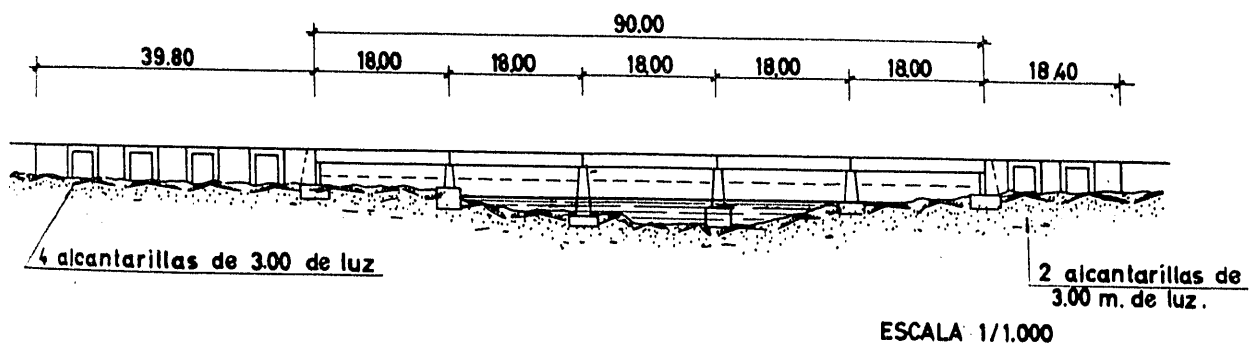


Foto 3.^a — Puente de San Martín del Tesorillo.



SUPERFICIE TABLERO
 $90.00 \times 9.00 = 810.00 \text{ m}^2$

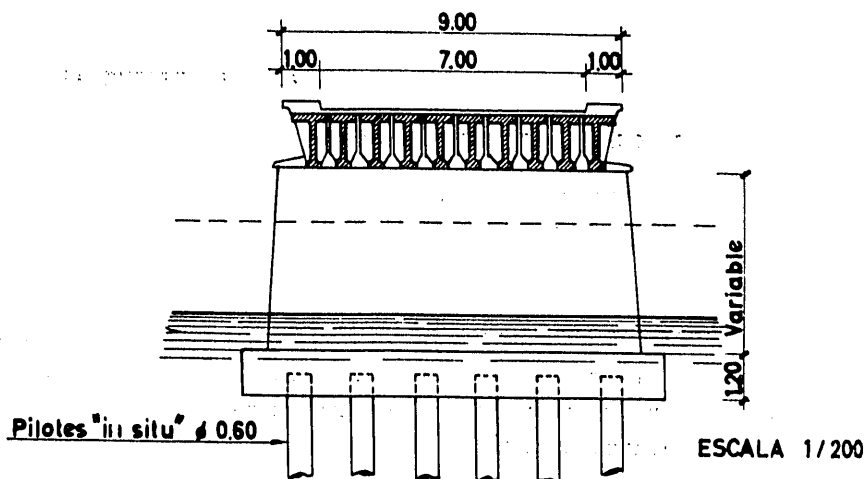


Fig. 3.^a — Puente de San Martín del Tesorillo sobre el río Guadiaro, en el Km. 10 de la carretera 514.

De este modo se ha actualizado el presupuesto primitivo para hacer comparables las dos cantidades.

Tablero de hormigón pretensado	4 330 227,67	Pesetas.
Tablero de hormigón armado	2 956 070,68	"
Aumento	1 374 156,99	"

Aumento de 46,49 por 100 sobre el presupuesto de hormigón armado. Siendo la superficie del tablero 810 m.², el precio del metro cuadrado de tablero pretensado es 5 345,96 pesetas.

La cubicación del hormigón pretensado, prefabricado, es de 417,873. Con un coste de 3 151 311,18 pesetas, el precio del hormigón terminado es 7 541,31 ptas./m.³.

Coste del puente.

Con pilas, estribos y cimentaciones de pilotes *in-situ* de ϕ 0,60 m. y longitud media de 17,01 m., 6 922 726,15 pesetas.

Precio del metro cuadrado de puente:

$$\frac{6\,922\,726,15}{810} = 8\,546,58 \text{ pesetas.}$$

Coste total y tiempo de puesta en servicio.

Con 481,70 m. de longitud de variante, el coste es ... 10 299 129,18 Pesetas.

Se dio paso al tráfico en noviembre de 1963.

PUENTE DE EL MOLINO DE FUEGO

Sobre el río Guadarranque, y perteneciente a una carretera local que enlaza dos carreteras comarcales, una de ellas, la de Olvera a San Roque. Sustituye a una pasarela provisional y lleva las tuberías del abastecimiento de agua al Campo de Gibraltar, cuyo origen es el embalse de Guadarranque.

El proyecto primitivo se remonta a febrero de 1961. Con las obras empezadas se cambió a la solución de hormigón pretensado.

La foto 4.^a se tomó durante las pruebas del puente. En la figura 4.^a se tienen sus dimensiones y disposiciones de las vigas.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS:

Viga doble T de alas desiguales.

Canto prefabricado	1,40 m.
Ala superior	0,86 »
Ala inferior	0,36 »
Forjado	0,16 »
Espesor del alma	0,14 »
Diámetro de los alambres pretensados	3 mm.
Situación de los alambres interior al alma.	
Sistema Barredo de prestensado	

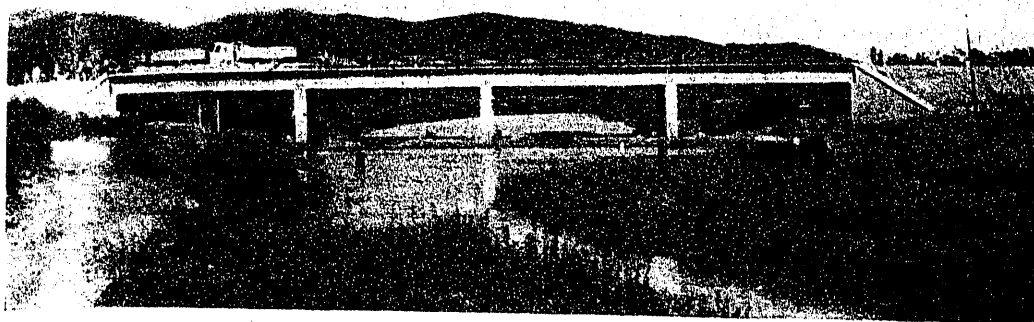
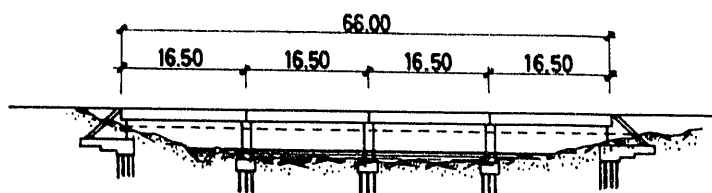
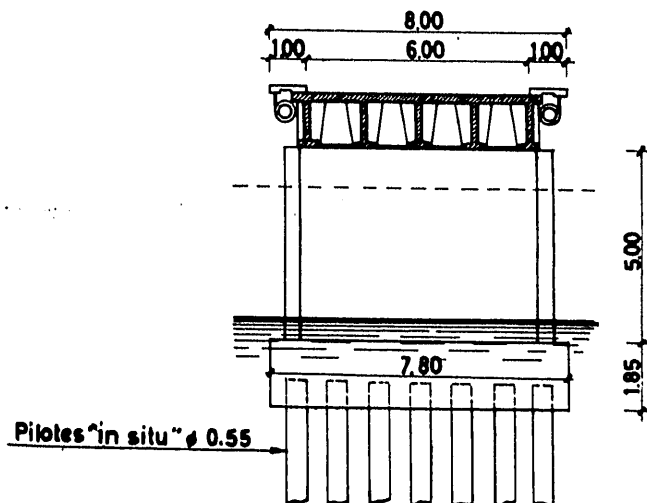


Foto 4.^a — Puente del Molino de Fuego.



ESCALA 1/1.000

SUPERFICIE DE TABLERO
 $66.00 \times 8.00 = 528.00 \text{ m}^2$



ESCALA 1/200

Fig. 4.^a — Puente del Molino de Fuego sobre el río Guadarranque, en la carretera 5120.

Materiales.

Resistencia característica del hormigón para pretensado	260 Kg./mm. ²
Resistencia a tracción en rotura de los alambres.....	15 000 Kg./cm. ²

Prefabricación.

Se prefabricaron las vigas mediante doveias.

Montaje.

No se lanzaron las vigas sino que se montaron las doveias en una cimbra en el eje del puente, y después de pretensadas, se riparon a sus posiciones definitivas. Se construyeron 20 vigas de 16,50 m. de longitud y peso unitario 19 Tn.

Forjado.

Las cabezas de las vigas forman parte del forjado, pero al estar separadas en ejes 1,50, quedan 0,64 m. de forjado que se hormigonó *in-situ* pretensado transversalmente.

Comparación del coste del tablero con el presupuesto primitivo.

Se ha actualizado el presupuesto primitivo con el aumento del 18 por 100 de obras ejecutadas después del 1 de enero de 1963.

Hormigón pretensado	1 441 320,70	Pesetas.
Hormigón armado	1 153 278,00	"
Aumento	288 042,70	"

que representa el 24,98 por 100.

Precio del metro cuadrado de tablero con hormigón pretensado:

$$\frac{1\,441\,320,70}{528,00} = 2\,729,77 \text{ pesetas.}$$

Precio del metro cúbico de hormigón pretensado terminado:

$$\frac{1\,241\,173,95}{194,191} = 6\,391,51 \text{ pesetas.}$$

Coste del puente.

La cimentación se hizo con pilotes *in-situ* de ϕ 0,55 y longitud media 11,65 m.

$$\frac{3\,751\,938,35}{528,00} = 7\,105,94 \text{ pesetas/m.}^2.$$

Coste total y puesta en servicio.

La longitud total de las obras accesos es	311,00 m.
Coste total	4 565 879,89 pesetas.

Se terminó en septiembre de 1964.

Resumen.

En primer lugar se comparan los costes en pesetas por metro cuadrado de los tableros de hormigón pretensado y los tantos por ciento de aumento respecto a la solución de hormigón armado.

CUADRO 1.º

P U E N T E	Longitud Tramo — metros	Hormigón armado	Hormigón pretensado	% de aumento	Observaciones
San Alejandro	28,00/14,00	4 336,86	4 627,27	6,70	Sin compensación económica.
San Pedro	28,17	—	5 310,98	—	
San Martín del Tesorillo.	18,00	3 649,47	5 345,96	46,49	
Molino de Fuego	16,50	2 184,24	2 729,77	24,98	

Se establece un índice de aprovechamiento de los hormigones en metros cúbicos por metro cuadrado de tablero y se da en tanto por ciento la relación del hormigón pretensado al armado.

CUADRO 2.º

P U E N T E	Longitud Tramo — metros	Hormigón armado	Hormigón pretensado	%
San Alejandro	28,00/14,00	0,828	0,710	85,75
San Pedro	28,17	—	0,670	—
San Martín del Tesorillo ...	18,00	0,683	0,516	75,55
Molino de Fuego	16,50	0,539	0,368	68,27

Finalmente, se comparan los precios de coste del metro cúbico de hormigón pretensado y terminado.

CUADRO 3.º

P U E N T E	Longitud Tramo — metros	Peso de viga — toneladas	Precio m. ³ de hormigón pretensado	Observaciones
San Alejandro	28,00/14,00	33/19	5 878,42	Sin compensación económica.
San Pedro	28,17	33	7 104,15	
San Martín del Tesorillo.	18,00	20	7 541,31	
Molino de Fuego	16,50	19	6 391,51	

Comentario.

Hasta aquí los hechos. Se han descrito unas obras realizadas, se ha visto lo que han costado y se han comparado entre sí y con otra solución. En la interpretación ya influye el factor subjetivo y admitimos perfectamente discrepancias en las conclusiones que van a comentarse.

Examinemos, en primer término, la comparación entre el hormigón armado y el pretensado. Por supuesto, siempre cabe la objeción de que no es igual el coste de la obra terminada que un presupuesto no llevado a la realidad. Pero mientras que en el puente de San Alejandro las dos soluciones son comparables, y seguramente sería más económico el hormigón pretensado si se hubiera proyectado directamente para tramos de 28 m., como se ha hecho en el puente de San Pedro, pues los tramos de menor longitud han visto compensado su mayor coste por un número, 91 vigas de 14 m. sobre un total de 117 y se consigue una buena prefabricación. En cambio, los otros dos tableros para longitudes de tramos de 18,00 m. y 16,50 m. y en puente con número más pequeño, es más cara la solución de hormigón pretensado, del orden de un 25 por 100 como indica el puente del Molino de Fuego, pues el aumento del 46,4 por 100 del puente de San Martín del Tesorillo merece mayor comentario.

La reducción de volumen de hormigón al pasar a la solución pretensada, que muestra el segundo cuadro, no es tan patente en el primer puente. Volvemos a la génesis de esta obra, de los nueve tramos; en siete tiene la viga pretensada igual al canto que la armada, lo que vino obligado por los tramos de 28 m. y la prefabricación que aconsejaba una sección igual para utilizar los mismos moldes.

Esto nos lleva al segundo comentario. La prefabricación va inherente al hormigón pretensado, pero tiene sus límites. Comparando los dos últimos puentes, cuyas longitudes no son muy distintas, se tiene 0,516 m.³/m.² para San Martín del Tesorillo y 0,33 metros cúbicos/m.² para el Molino de Fuego, y todavía es más elocuente el cuadro 3.º con precios de hormigón pretensado de 7 541,31 ptas./m.³ y 6 391,51 ptas./m.³. Insistimos que no hay dos obras iguales, pero estos dos puentes, hechos prácticamente al mismo tiempo, en la misma comarca y en análogas condiciones, ¿dicen una causa de esta diferencia de precio. A nuestro juicio es la prefabricación en el montaje de las vigas. En San Martín del Tesorillo se prefabricó íntegramente el tablero en la margen del cauce y sólo hubo que coser las vigas transversalmente. En cambio, en el último puente que se comenta, parte del tablero se construyó *in-situ* y las vigas se montaron en los tramos, y sólo se riparon para quedar en su lugar. No es fácil, ni barato, mover vigas de 18,00 m. y 20 Tn. de peso, cuanto más en una obra de no mucha importancia que no permite el empleo de potentes elementos auxiliares.

Además se tienen las diez vigas que componen la sección del puente más costoso frente a las cinco vigas del Molino de Fuego, con sólo 1,00 m. de diferencia más en el ancho total del tablero. Existe una tendencia de todo proyectista, y acentuada por la nota personal en planear cantos reducidos, con la consecuencia de no aprovechar el material como es debido.

El comentario final trasciende un poco los límites de esta nota. No debemos centrarnos en una solución única. Después de la Guerra de Liberación, durante veinte años sólo cabía una solución por razones obvias, pero hoy no es lo mismo. No debe ignorarse la solución metálica en los puentes. Y no repitamos el argumento del ataque del acero por los agentes atmosféricos. Los dos puentes metálicos sustituidos por los dos primeros puentes descritos, lo han sido por su falta de capacidad.

lo mismo en anchura de calzadas que en resistencia, lo cual es lógico pues se calcularon hace unos noventa años. El acero conserva sus secciones pasablemente frente a la humedad del Atlántico.

Las técnicas modernas de construcción metálica utilizando soldadura cada vez con mayores garantías, el empleo de chapas, formando vigas en cajón, y últimamente la posibilidad de trabajar con aceros de alta resistencia y de distinta clase, según las tensiones de trabajo requeridas en las diferentes partes de la sección transversal, llevan a soluciones más económicas, sin olvidar el mayor conocimiento que cada vez se tiene sobre el problema de la corrosión. Todo ello vuelve a traer a la actualidad la solución metálica.

Hay circunstancias que imponen una solución, pero en la mayoría de los casos vale la pena de comparar soluciones y encontrar las más económicas.

Terminamos manifestando las empresas constructoras de los puentes:

Cubiertas y Tejados, S. A.: San Alejandro y San Pedro.

Dragados y Construcciones, S. A.: San Martín del Tesorillo.

Corsan, S. A.: Molino de Fuego.

Comentario.

Hasta aquí los hechos. Se han descrito unas obras realizadas, se ha visto lo que han costado y se han comparado entre sí y con otra solución. En la interpretación ya influye el factor subjetivo y admitimos perfectamente discrepancias en las conclusiones y secuencias que van a comentarse.

Examinemos, en primer término, la comparación entre el hormigón armado y el pretensado. Por supuesto, siempre cabe la objeción de que no es igual el coste de la obra terminada que un presupuesto no llevado a la realidad. Pero mientras se examina el puente de San Alejandro las dos soluciones son comparables, y seguramente sería más económico el hormigón pretensado si se hubiera proyectado directamente para tramos de 28 m., como se ha hecho en el puente de San Pedro, pues los tramos de menor longitud han visto compensado su mayor coste por un número, 91 vigas de 14 m. sobre un total de 117 y se consigue una buena prefabricación. En cambio los otros dos tableros para longitudes de tramos de 18,00 m. y 16,50 m. y en puente con número más pequeño, es más cara la solución de hormigón pretensado, del orden de un 25 por 100 como indica el puente del Molino de Fuego, pues el aumento es del 46,4 por 100 del puente de San Martín del Tesorillo merece mayor comentario.

La reducción de volumen de hormigón al pasar a la solución pretensada, que muestra el segundo cuadro, no es tan patente en el primer puente. Volvemos a la génesis de esta obra, de los nueve tramos; en siete tiene la viga pretensada igual al canto que la armada, lo que vino obligado por los tramos de 28 m. y la prefabricación que aconsejaba una sección igual para utilizar los mismos moldes.

Esto nos lleva al segundo comentario. La prefabricación va inherente al hormigón pretensado, pero tiene sus límites. Comparando los dos últimos puentes, cuyas longitudes no son muy distintas, se tiene 0,516 m.³/m.² para San Martín del Tesorillo y 0,23 metros cúbicos/m.² para el Molino de Fuego, y todavía es más elocuente el cuadro 3.º con precios de hormigón pretensado de 7 541,31 ptas./m.³ y 6 391,51 ptas./m.³. Insistimos que no hay dos obras iguales, pero estos dos puentes, hechos prácticamente al mismo tiempo, en la misma comarca y en análogas condiciones, indican una causa de esta diferencia de precio. A nuestro juicio es la prefabricación en el montaje de las vigas. En San Martín del Tesorillo se prefabricó íntegramente el tablero en la margen del cauce y sólo hubo que coser las vigas transversalmente. En cambio, en el último puente que se comenta, parte del tablero se construyó in situ y las vigas se montaron en los tramos, y sólo se riparon para quedar en su lugar. No es fácil, ni barato, mover vigas de 18,00 m. y 20 Tn. de peso, cuanto más en una obra de no mucha importancia que no permite el empleo de potentes elementos auxiliares.

Además se tienen las diez vigas que componen la sección del puente más costoso frente a las cinco vigas del Molino de Fuego, con sólo 1,00 m. de diferencia más en el ancho total del tablero. Existe una tendencia de todo proyectista, y acentuada por la nota personal en planear cantos reducidos, con la consecuencia de no aprovechar el material como es debido.

El comentario final trasciende un poco los límites de esta nota. No debemos centrarnos en una solución única. Después de la Guerra de Liberación, durante veinte años sólo cabía una solución por razones obvias, pero hoy no es lo mismo. No debe ignorarse la solución metálica en los puentes. Y no repitamos el argumento del ataque del acero por los agentes atmosféricos. Los dos puentes metálicos sustituidos por los dos primeros puentes descritos, lo han sido por su falta de capacidad.

lo mismo en anchura de calzadas que en resistencia, lo cual es lógico pues se calcularon hace unos noventa años. El acero conserva sus secciones pasablemente frente a la humedad del Atlántico.

Las técnicas modernas de construcción metálica utilizando soldadura cada vez con mayores garantías, el empleo de chapas, formando vigas en cajón, y últimamente la posibilidad de trabajar con aceros de alta resistencia y de distinta clase, según las tensiones de trabajo requeridas en las diferentes partes de la sección transversal, llevan a soluciones más económicas, sin olvidar el mayor conocimiento que cada vez se tiene sobre el problema de la corrosión. Todo ello vuelve a traer a la actualidad la solución metálica.

Hay circunstancias que imponen una solución, pero en la mayoría de los casos vale la pena de comparar soluciones y encontrar las más económicas.

Terminamos manifestando las empresas constructoras de los puentes:

Cubiertas y Tejados, S. A.: San Alejandro y San Pedro.

Dragados y Construcciones, S. A.: San Martín del Tesorillo.

Corsan, S. A.: Molino de Fuego.