ensanche del puente del Angel Custodio sobre el río Turia-Valencia

Proyecto: JUAN FORNES DOMENECH, Dr. Ing. de Caminos
Dirección de Obra: TOMAS PRIETO MARTIN, Dr. Ing. de Caminos
Empresa Constructora: CONSTRUCCIONES ATALAYA, S. A.

sinopsis

562-106

El proyecto comprende el ensanche del puente actual de 15 m de anchura a 31,60 m, quedando con dos vías de 10,10 m, dos andenes de 2,40 m, dos zonas de protección de 0,50 m cada una y una mediana de 5 m. La sección longitudinal consta de seis vanos de 20 m de luz y dos bóvedas de medio punto de 5 m de diámetro situadas en las embocaduras.

Había que darle al puente las mismas características actuales, puesto que el ensanche se hace por un solo lado.

Pilotaje y alzado de pilas quedaron terminados en 6 meses. Las vigas de 20 m de luz sobre las que apoya el tablero de hormigón armado se preveía debían construirse in situ; pero estudiado conjuntamente por la Dirección de Obra y Empresa Constructora, se determinó prefabricarlas en el lecho del río y elevarlas con grúa para reducir el plazo de ejecución. De esta manera se consigue un ahorro de tiempo de ejecución y, además, no se ha cerrado al tráfico el puente, punto éste de gran importancia, ya que enlaza directamente las carreteras que unen Valencia con Barcelona y Alicante. El tiempo medio de la operación amarre-izaje-colocación de cada viga fue de 18 minutos.

Ensanche de puentes - Problemas generales

El proyecto de ampliación de un puente lleva consigo una serie de problemas específicos de índole muy distinta a los que normalmente se plantean en la ejecución de proyectos de nuevos puentes.

Al ensanchar un puente, el proyectista ha de contar ineludiblemente con la parte ya construida; y la influencia de ésta será, a través del doble aspecto de la economía y forma, decisiva a la hora de elegir las soluciones a adoptar.

Como consecuencia de la definición geométrica de la nueva sección transversal y de la posición de ésta con respecto a la antigua, podremos tener dos tipos de ampliaciones:

- 1.º El puente se ensancha a ambos lados.
- 2.º El puente se ensancha a un solo lado.

Tratándose del primer tipo de ampliación, el proyectista, que muy bien puede no estar de acuerdo con alguno o diversos aspectos de la estructura existente, tiene en sus manos la posibilidad de darle al puente, aun contando con las limitaciones que la obra vieja le impone, una fisonomía completamente nueva y acorde con su criterio y exigencias.

Por razones, que generalmente son de orden económico, no sucede así con el segundo tipo de ampliaciones. El nuevo paramento suele ser una reproducción exacta del antiguo, con lo que los defectos de este último, si es que existían, siguen conservándose; y desgraciadamente son muchos los puentes, sobre todo los construidos al principio de la época del hormigón armado, que, estando en nuestros días en perfectas condiciones de servicio, son inexcusables desde cualquier punto de vista estético actual.

Otro problema que se presenta en la ampliación de un puente es la unión de la obra antigua con la nueva. Si se prevén asentamientos, hay que separar convenientemente las cimentaciones; pero aún en el caso de que ningún descenso fuera de temer, el problema de la junta en el tablero entraña dificultades, sobre todo si la estructura es flexible, que no siempre son bien superadas.

Ensanche del puente del Angel Custodio sobre el río Turia

Ideas generales

El puente del Angel Custodio se construyó según proyecto fechado en el año 1940. Consta de seis vanos de 20 m de luz y dos bóvedas de medio punto de 5 m de diámetro situados en las embocaduras. Tenía la sección transversal una anchura de 12 m total, de los cuales 7 correspondían a la calzada, y el resto a dos andenes elevados de 2,50 m de altura cada uno. El tablero de los vanos de 20 m estaba formado

La sección rayada corresponde a obra moderna.

por ocho vigas en T de hormigón armado, apoyadas isostáticamente sobre los pilares; tienen estas vigas una altura de 1,825 m y un ancho de 0,50 m. Las bóvedas de medio punto son de hormigón en masa y cumplen en realidad con la función de estribos aligerados.

Aunque estéticamente presenta el puente un aspecto bastante digno, aún puede advertirse en él la influencia de siglos de construcción con piedra labrada.

Antes de procederse a la adjudicación de las obras correspondientes al ensanche y pavimentación del primer tramo del Camino de tránsitos, que comprende las Avenidas de Peris y Valero y Cardenal Benlloch (enlace del nuevo acceso sur por Silla y del nuevo acceso por el norte de la N-340), la Jefatura de Obras Públicas de Valencia estimó que el desdoblamiento del puente del Angel Custodio no estaba suficientemente definido para que su ampliación formase parte de la obra mencionada, a pesar de que este puente se encuentra dentro del tramo descrito más arriba. La razón de haber excluido esta parte del proyecto total fue de-

Segunda fase del montaje: En esta nueva posición la grúa-camión iza las vigas 4 y 3 y las coloca sobre las pilas.

2

Primera fase del izado de las vigas de un tramo: La grúa-camión monta sobre las pilas las vigas 7, 6 y 5. Los círculos indican los alcances máximo y mínimo para el peso que debe mover la grúa-camión.

4

Tercera y última fase del izado de vigas: La grúa-camión monta las dos vigas restantes del tramo.

5

Disposición de bulones y pasadores de izado.

6

bida a que había que someter el desdoblamiento de la calzada a un estudio mucho más profundo, como consecuencia de las vías rápidas que en el futuro existirán a ambos lados del actual cauce del río Turia, una vez que éste haya sido desviado y en su emplazamiento presente se disponga el complejo viario que en régimen de autopista o autovía enlazará la carretera de Madrid con la Autopista de la Costa.

Realizado por la Oficina Regional de Proyectos de Valencia el correspondiente proyecto de ensanche, con un importe de ejecución por contrata de 20.397.385 pesetas, fue adjudicada la obra a la Empresa Atalaya, S. A.

Empezaron oficialmente las obras el 3 de octubre de 1966 y han de estar concluidas el 25 de diciembre de 1967.

Modificación del proyecto - justificación

Se procuró que las obras entorpecieran lo menos posible la circulación sobre el puente y, efectivamente, pueden seguir conservándose, durante el transcurso de éstas, los dos carriles primitivos; pero éstos son insuficientes para dar la debida fluidez al tráfico existente.

Administración y Empresa, en íntima colaboración, deciden acortar al máximo el plazo de ejecución, previendo, con ello, una gran economía general basada en el ahorro de tiempo que el puente ensanchado le puede suponer al usuario. En efecto, si de los 25.000 vehículos de intensidad media diaria que arrojan los aforos de 1965 suponemos afectados por el ensanchamiento unos 15.000, y admitimos como posible pérdida de tiempo de 3 minutos por vehículo, se tendrá:

Pérdida diaria: $0,05 \times 15.000 = 750$ horas.

Valorando en 110 pesetas la hora de vehículo que podríamos llamar medio, obtendremos como pérdida económica diaria la de $750 \times 110 = 82.500$ pesetas, lo que supone un ahorro por mes de avance en la fecha de terminación de las obras de $82.500 \times 30 = 2.475.000$ pesetas. Estas cifras, que no pretendemos sean rigurosamente exactas, dan una idea de la importancia que debe concedérsele al factor «plazo de ejecución» en cierto tipo de construcción.

El ensanche, que afecta solamente al paramento de aguas abajo, se proyectó a base de un tablero de hormigón armado construido con vigas en T de

planta de entramados

7

sección longitudinal de un tramo de arranque

Sección parcial de vigas y tableros con indicación de armaduras.

igual altura que las existentes. Antes de proceder a la am-
pliación de pilar y estribos había que desmontar la sillería
de estos elementos que quedaba del lado del ensanche, para
volver después a disponerla en su emplazamiento definitivo,
conservando así el aspecto exterior del puente. Era necesario
hacer compatible esta delicada operación de desmonte y
posterior ajuste con la rapidez de ejecución que las necesi-
dades imponían; y gracias al interés y organización desple-
gados por las partes comprometidas en el asunto, la econo-
mía del tiempo lograda pudo superar los cálculos más opti-
mistas. Cimentación y alzados quedaron preparados para o-
cibir el tablero en el breve plazo de 6 meses, tiempo que
podemos casi considerar de relámpago, si además tenemos en
cuenta que en la cimentación, hecha a base de pilotaje, se
dispusieron 136 pilotes de 0,64 m de diámetro con una longitud
total de éstos de 1.456 metros.

Piezas prefabricadas

Pero, desgraciadamente, la alegría de los primeros éxitos quedó un tanto apagada al presentarse el problema de la ejecución del tablero. Era éste, como ya en un principio se había previsto, el aparentemente inevitable cuello de botella. La necesidad de cimbras y apuntalamientos, las dificultades en el vano del río, la obligada lentitud de la colocación de armaduras in situ, el gran número de movimientos verticales a efectuar por las guías en la operación de hormigon, etc.; todo ello suponía inconvenientes que, bien superados, permitirían, a lo sumo, el cumplimiento del plazo de ejecución previsto en proyecto. Era materialmente imposible el acor-

Las secciones rayadas corresponden a las piezas prefabricadas.
La sección restante se hace in situ.

tarlo. Y de pronto, tímida al principio, como suele ser al nacer toda idea, surgió la solución: prefabricar las almas de las vigas en el lecho del cauce, colocarlas después, elevándolas con grúa, en su posición definitiva y realizar, una vez efectuada esta operación, el tablero in situ, disponiendo, para ello, un sencillo encofrado apoyado sobre las mismas vigas.

Problemas que se presentaron

La idea tuvo aceptación y fue poco a poco adquiriendo forma a medida que iban superándose las dificultades, impuestas por lo imprevisto de la solución. Era necesaria una grúa capaz en potencia y movimientos de realizar las operaciones de elevación y colocación de las vigas (el peso de cada una de éstas es de 30 t) y, naturalmente, no debían de quedar perjudicados los intereses de la Empresa; es decir, el precio total de costo con el nuevo sistema no tendría que superar el presupuesto previsto en proyecto. Verificada la posibilidad de estas dos condiciones previas, quedaba aún otra cuestión por resolver: el sistema introducía, al tener que contar con la parte prefabricada como única sección resistente para el peso propio del conjunto alma-tablero, un régimen de tensiones distinto al previsto en el anejo de Cálculos del proyecto, que suponía trabajando desde un principio, y tanto para pesos propios como para sobrecargas a la sección total de viga en T.

Efectuados los oportunos cálculos —por presentar ciertas peculiaridades especiales desde el punto de vista del dimensionamiento, consideramos interesante adjuntarlos como anejo—, se comprobó que era posible la adaptación del sistema aún sin variar la armadura dispuesta en los planos del proyecto.

Ejecución

La ejecución debía ceñirse a dos premisas: por un lado, el plazo de 15 meses que había ofrecido la Empresa constructora, rebajando el plazo previsto en el proyecto en 3 meses y, por otro, las posibles avenidas que pudiera tener el río Turia.

Según las estadísticas, los meses de mayor densidad de lluvia son: octubre, con una media de aproximadamente 155 l/m²; septiembre, con 65 l/m², y le sigue mayo, con aproximadamente 25 l/m²; media obtenida durante los seis últimos años. Por lo tanto, en los meses de septiembre y octubre, principalmente, hay que temer crecidas fuertes del río, y en el recuerdo de todos está grabada todavía la riada de octubre de 1957. En los meses restantes del año, y con muy pocas excepciones, el caudal del río discurre por uno solo de los seis vanos de que consta el puente.

Preparación de armaduras y soleras de contraflecha

10

Vigas preparadas para su izado.

11

Toma de testigo de una viga para control de resistencia.

12

IZADO DE UNA VIGA: Primeros instantes del montaje. Al fondo puede verse el público que contempla la maniobra.

IZADO DE UNA VIGA: La pieza ha rebasado la altura de la pila y el grúa se dispone a iniciar el giro para llevar el elemento prefabricado a su sitio.

Debido a lo que antecede, y aun cuando la adjudicación de la obra se efectuó el 23 de agosto de 1966 y el replanteo el día 3 de octubre, la Empresa de construcción no inició los trabajos hasta el día 3 de noviembre por temor a una inundación de la obra. Efectivamente, se produjo la temida riada a mediados de octubre, dejando además intransitable la obra hasta finales del mismo mes. Las obras se iniciaron

IZADO DE UNA VIGA: Se ha iniciado el giro. Sobre la viga van escritos, de forma visible, su peso y luz, para información de los técnicos que acudieron a presenciar la maniobra expresamente invitados por la Empresa.

Fotos: FINEZAS

con un ritmo muy fuerte, certificando en noviembre-diciembre la totalidad de la primera anualidad, que superaba los cuatro millones de pesetas y quedando terminados prácticamente los alzados del puente en el mes de abril de este año.

Terminadas las pilas se inició la fabricación de las 42 vigas prefabricadas, siendo el volumen de cada una de ellas de 11,4 m³ de hormigón, con un peso de aproximadamente 30 t. La armadura consta de 19 varillas longitudinales entre 16 y 32 mm de diámetro, y el encofrado es de 66,3 m² por viga.

Teniendo en cuenta que se trata de 42 vigas a prefabricar, podemos hacernos una idea clara de la importancia que tiene el transformar un gran número de movimientos verticales de materiales en un simple izado de los elementos prefabricados. Si a esto añadimos el montaje y desmontaje de los 5.400 m³ de cimbras (volumen comprendido entre el plano de base de las vigas y su proyección vertical sobre el terreno), vemos que el nuevo sistema trae consigo un importante ahorro de tiempo.

El montaje debía efectuarse, a ser posible, con una única grúa, ya que siempre es difícil ajustar el movimiento de dos grúas que trabajan independientemente. Elegido el tipo de grúa se estudió un plan de montaje para conseguir que, con los menores cambios posibles de situación de la grúa y reduciendo los movimientos de izado y giro al mínimo, se obtuviera la máxima velocidad de montaje con el menor esfuerzo sobre las vigas prefabricadas. Al mismo tiempo interesaba que el amarre fuese totalmente seguro y, asimismo, de rápida colocación. Para el izado se han dejado unos taladros a 3 m en los extremos de las vigas y a 0,70 m de su base, protegidos con tubos de acero de 110 mm de diámetro y 4,5 mm de espesor de pared, rodeados de un zuncho de alambre de 5 mm de diámetro y 30 mm de paso para un mejor reparto del esfuerzo. Por cada uno de los dos orificios transversales se pasan unos bulones de acero de 95 mm de diámetro que se introducen en los ojales de las eslingas de la grúa, que quedan, a su vez, aseguradas por unos pasadores.

Este sistema ha sido sumamente eficaz, ya que el izado de las vigas dura escasamente 12 minutos, y la maniobra total de amarre, puesta en sitio y desenganche se efectúa en menos de 1/2 hora por viga, quedando éstas situadas exactamente en su emplazamiento, sobre apoyo de neopreno. La confección del tablero se ejecutará mediante hormigonado in situ sobre encofrado de madera que, mediante disposición especial, se suspende de las propias vigas. Para ilustración del sistema de montaje se adjuntan unos croquis de la disposición empleada.

Ventajas que ofrece el sistema

De lo que antecede ya se desprende que empleando el sistema de prefabricación, en nuestro caso concreto se obtiene una mayor rapidez de construcción y se evitan totalmente los peligros que para un cimbreado o apeo podría suponer una riada.

A estas ventajas hay que sumar la posibilidad de efectuar ensayos de resistencia del hormigón empleado antes de proceder a la colocación de las vigas y poder rechazar, por tanto, cualquier elemento que no cumpla con el Pliego de Condiciones —en este caso 300 kg a los 28 días—, sin que esto suponga un perjuicio para la obra. Hay que añadir, asimismo, la mayor facilidad de trabajo y, por consiguiente, una mayor seguridad del personal obrero, ya que prácticamente no pueden producirse accidentes por trabajar a nivel del suelo.

Anejo de cálculo

Se aborda el cálculo de los estados tensionales según la teoría clásica, no perdiendo de vista, sin embargo, que los resultados obtenidos pueden distar mucho de la realidad.

Realizado también el cálculo de rotura se obtiene un coeficiente de seguridad frente a sobrecargas de 3.

La operación de hormigonado del tablero se efectúa en dos etapas, realizándose en la primera etapa el tercio central (en el sentido de la luz), y hormigonando el resto en la segunda etapa, una vez convenientemente fraguado el hormigón del tercio central. El proceder de esta forma proporciona las siguientes ventajas:

- a) disminuye las tensiones de retracción;
- b) proporciona juntas de hormigonado para el tablero;

- c) cuando se vierte el hormigón de la segunda etapa, el de la primera ya colabora y, por lo tanto, se producirán flechas menores que las previstas. Especialmente, al funcionar el tercio central, como sección compuesta para resistir el peso del hormigón fresco de la segunda etapa, disminuirémos las tensiones en el acero y el hormigón de la parte de la viga prefabricada.

Analicemos brevemente, y de un modo genérico, el proceso de cálculo seguido para la determinación de tensiones según la teoría clásica.

El primer estado de tensiones en el alma, debido al peso propio de ésta y al del tercio central de tablero, es fácilmente determinable, ya que conocemos las características resistentes de la sección y los esfuerzos producidos. Sea AB (fig. 5) la ley de tensiones correspondientes a este primer estado y CD la producida por el resto de pesos propios, pesos muertos y sobrecargas.

Observemos que parte de las tracciones de CD están actuando en una previamente comprimida de AB y, por tanto, al establecer el equilibrio en la sección, no habrá que contar como inactiva la totalidad del bloque de tracciones de CD . Si $C'D'$ es la línea simétrica de CD , con respecto a MN , las composiciones a considerar corresponden a la superficie rayada de la figura.

Son datos conocidos o fácilmente determinables:

- b = Ancho de ala;
- b_0 = Ancho de nervio;
- e = Espesor de ala;
- h = Canto útil de porte prefabricado;
- a = Profundidad de fibra neutra para primer estado;
- σ_{h1} = Tensión máxima de compresión en el hormigón para primer estado;
- σ_{e1} = Tensión en el acero para primer estado;
- Ω = Sección de armadura de tracción.

Son desconocidos:

- σ_{hx} = Tensión del hormigón en fibra superior de tablero para segundo estado;
- x = Profundidad de la fibra neutra de deformaciones para los esfuerzos correspondientes a la segunda etapa de hormigonado, pesos muertos y sobrecargas.

Por sencillas relaciones geométricas podemos establecer, en función de las dos incógnitas citadas, el valor y posición de las resultantes de cada una de las zonas en que se descompone el bloque de compresiones. Tendremos:

$$F \text{ Bloque } MQPC' = \frac{1}{2} b \left(\frac{x-e}{x} \sigma_{hx} + \sigma_{hx} \right) e$$

$$F \text{ Bloque } PQO = \frac{1}{2} b_0 \frac{x-e}{x} \sigma_{hx}$$

$$F \text{ Bloque } AQS = \frac{1}{2} b_0 a \sigma_{hx}$$

$$F \text{ Bloque } ORS = -\frac{1}{2} b_0 (a-x) \frac{x \sigma_{hx} \cdot \sigma_{h1}}{\sigma_{hx} - \sigma_{h1} x}$$

$$F \text{ En armadura} = \Omega \left(\sigma_{e1} + 15 \frac{h+e-x}{x} \sigma_{hx} \right).$$

Estableciendo el equilibrio de fuerzas y momentos, se obtienen dos ecuaciones en σ_{hx} y x . Para la resolución práctica de estas ecuaciones, dada su complejidad, hay que proceder por tanteos.

Se obtuvo como resultado del método expuesto una tensión máxima en el hormigón de la parte prefabricada de 76 kg/cm², y en el tablero de 33 kg/cm², siendo la tensión de trabajo en la armadura de 2.200 kilogramos por centímetro cuadrado.

16

VISTA GENERAL: Pueden apreciarse las vigas izadas y colocadas sobre las pilas. El montaje se halla en su última fase. Faltan sólo por colocar tres elementos del tramo por donde discurre el río. Este tramo difería de los cinco restantes en la colocación de las vigas.

El día 8 de octubre quedó abierto al tráfico el Puente del Angel Custodio, habiéndose ganado, gracias al sistema, 80 días al plazo que ya previamente se había reducido en tres meses, al ser adjudicada la obra a la Empresa Constructora.

Vigas colocadas en espera del tablero de hormigón armado que se fabricará sobre ellas.

Armado del tablero sobre las vigas.

17

18

Elargissement du pont de l'Ange Gardien sur la rivière Turia - Valence

Projet: Juan Fornés Domenech, Dr. Ing. des Ponts et Chaussées.
Direction de l'ouvrage: Tomás Prieto Martín, Dr. Ing. des Ponts et Chaussées.
Entreprise de construction: Construcciones Atalaya, S. A.

Le projet comprend l'élargissement du pont actuel de 15 m de large, à 31 m 60, consistant en deux chaussées de 10 m 40, deux trottoirs de 2 m 40, deux zones de protection de 0,50 m chacune et une autre moyenne de 5 m. La section longitudinale comprend six arcs de 20 m de portée et deux voûtes en cul-de-four de 5 m de diamètre situées aux embouchures.

Il fallait conserver au pont ses mêmes caractéristiques, l'élargissement n'étant effectué que d'un seul côté.

Les pilotis et l'élévation des piliers furent terminés en six mois. La construction des poutres de 20 m de portée sur lesquelles s'appuie le tablier en béton armé était prévue in situ. Mais après une étude effectuée conjointement par la Direction de l'ouvrage et l'entreprise de construction, il fut décidé de les préfabriquer dans le lit de la rivière et de les élever à l'aide d'une grue pour réduire le délai d'exécution. Cette mesure, en plus d'assurer une économie de temps d'exécution, a évité l'interruption du trafic, chose très importante étant donné que le pont dessert les routes reliant Valence avec Barcelone et Alicante. Le temps moyen de l'opération d'amarrage-élévation-mise en place de chaque poutre a été de 18 minutes.

Widening of the Angel Custodio bridge over river the Turia, Valencia

Project: Juan Fornés Domenech, Dr. civil engineer.
Site management: Tomás Prieto Martín, Dr. civil engineer.
Contractors: Construcciones Atalaya, S. A.

The project comprises the widening of the existing bridge from 15 m to 31.60 m, and providing two traffic lanes, each 10.40 m wide, and two sidewalks, of 2.40 m width, as well as two protection zones, 0.50 in width, and a central separating section of 5 m. The bridge has 6 spans, each 20 m long, and two half circular vaults, of 5 m diameter, at each end of the bridge.

The bridge had to maintain its present span arrangement, since it has been widened only on one side.

The sinking of piles, and the building of the span supports was completed in six months. The 20 m span beams, on which the reinforced concrete bridge slab rests were to be cast at the site, but after careful study by the site management engineer and the contractors it was decided to built them on the river bed, and lift them by means of a crane, to shorten the construction time. This saves time, and made it unnecessary to close the traffic over the existing bridge; an important factor, since the bridge connects the roads from Valencia, Barcelona and Alicante. The mean time taken in attaching, lifting and placing each beam was 18 minutes.

Erweiterung der Angel-Custodio-Brücke über den Turia-Fluss - Valencia

Plan: Juan Fornés Domenech, Dr. Ing.
Bauleitung: Tomás Prieto Martín, Dr. Ing.
Bauunternehmen: Construcciones Atalaya, S. A.

Das Projekt umfasst die Erweiterung der jetzigen Brücke von 15 m auf 31,60 m mit zwei Bahnen von 10,40 m, zwei Gehsteigen von 2,40 m, zwei Schutzzonen von jeweils 0,50 m und einer mittleren von 5 m. Die Brückenlänge besteht aus sechs Öffnungen mit 20 m Spannweite und zwei halbkreisförmigen Bogen in den Einmündungen von 5 m Durchmesser.

Da die Brücke nur auf einer Seite erweitert wurde, musste ihre ursprüngliche Bauform übernommen werden.

Die Pfähle und Stützen wurden innerhalb von sechs Monaten errichtet. Man hatte ursprünglich geplant, die Balken von 20 m Spannweite, die die Fahrbahn aus Stahlbeton stützen, an Ort und Stelle anzufertigen. Aber nach gemeinsamer Überlegung mit der Bauleitung beschloss man, sie im Flussbett anzufertigen und mit einem Kran zu heben. Auf diese Art spart man Zeit und ausserdem brauchte die Brücke so nicht für den Verkehr gesperrt zu werden. Dies ist ein äusserst wichtiger Faktor, da die Brücke die Landstrassen Valencia, Barcelona und Alicante verbindet. Für das Befestigen, Heben und Einbauen eines jeden Balkens waren durchschnittlich 18 Minuten erforderlich.