puentes de carretera de montaña

RENDEL, PALMER y TRITTON, ingenieros
ALEX GORDON y PARTNERS, arquitectos

562-85

inglaterra

sinopsis

La reforma del trazado de la carretera entre Hirwaun y Abergavenny, en la zona denominada «Heads of the Valleys», ha motivado la construcción de cuatro nuevos puentes que, por su situación y por lo accidentado del terreno, fueron objeto de particular estudio a fin de lograr una solución óptima.

La adopción de métodos tradicionales exigía el empleo de grandes cimbras y soportes por la profundidad de las depresiones salvadas. Por ello se recurrió a los sistemas de construcción en voladizos.

La solución definitiva fue, pues, de arco en voladizo, en tres de los cuatro puentes, y el cuarto, de tramo central y dos laterales apoyados con intradós formando una superficie curva y dos soportes intermedios de mediana altura, esbeltos y articulados en su base.

La descripción de las tres primeras obras se ha hecho admitiendo una gran similitud entre ellas y, por tanto, como si se tratase de una sola. La cuarta es diferente y se ha construido con vigas doble T, montadas en voladizo por trozos de 3 m y hormigonando en obra los huecos entre alas de estas vigas, espaciadas a 3 m.

El conjunto de cuatro de estas vigas y las losas que cierran los huecos entre alas, forma una estructura hueca tipo cajón. El canto de la estructura así constituida varía desde 4,50 m sobre soportes hasta 1,5 m en la clave.

La construcción en voladizo empezó hormigonando un primer bloque al cual se le iban añadiendo trozos de vigas de 3 m que se solidarizaban con la parte anteriormente construida mediante armaduras pretensadas.

El sistema mixto de piezas prefabricadas y losas hormigonadas en obra ha sido posible gracias al pretensado.

introducción

La reciente mejora vial que permitirá la comunicación directa entre Midlands y la zona industrial de Gales (Inglaterra), ha exigido la construcción de cuatro importantes puentes, comprendidos en un trozo de unos 15 km de carretera. Tres de ellos—el Taf Fechan, el Nant Hir y el Nant Ffrwd, objeto de esta primera descripción—son de hormigón armado, en arco y con tablero apoyado en palizadas levantadas en el extradós del arco. Cada uno de los arcos se ha subdividido en dos, independientes, de perfil parabólico.

El tablero, que es continuo, se ha fijado a los arcos en las proximidades de la clave, y la retracción se desarrolla con dirección hacia los estribos. Los soportes sobre el extradós de los arcos están constituidos por dos tabiques formando pórtico con el tablero y articulados en su unión con el mismo. En las proximidades de la clave se han fijado los soportes a los arcos con objeto de resistir a los esfuerzos longitudinales, mientras que los restantes se han articulado en sus bases para evitar la introducción de momentos en los arcos debidos a dilataciones y contracciones del tablero.

Los tableros correspondientes a estos tres puentes tienen sus ejes curvos inclinados respecto al plano horizontal,

situación

obteniéndose su curvatura por variación de la dirección en las fases de avance por trozos en voladizo.

Todos los estribos y soportes de los tramos de acceso se han cimentado sobre roca firme, a excepción de dos puentes, cuyos cimientos descansan sobre un relleno de piedra compactada, y sus tableros se han articulado en el último soporte para permitir posibles asentamientos en los estribos.

Los tres puentes tienen:

El de Taf Fechan: 120 m de longitud, arco central de 69 m de luz, flecha de 11,30 m y canto variable de 1 m en arranques a 0,75 m en la clave.

El Nant Hir: 85 m de longitud, arco de 56 m de luz, flecha de 11,30 m y canto variable de 0,90 m en arranques a 0,60 m en la clave.

El Nant Ffrwd: 71 m de longitud, arco de

41 m de luz, flecha de 8 m y canto variable de 0,90 m en arranques a 0,60 m en la clave.

construcción de los arcos

El principal problema en la construcción de puentes, aparte de los estribos, reside en las cimbras para los arcos. Desde el punto de vista económico es de desear la mayor ligereza posible, pero con ello se crean problemas que afectan la estabilidad, deformaciones, tensiones interiores, etc., que, posteriormente, dificultan el desencofrado y el control de tensiones finales.

Para el proyecto de entramados auxiliares del puente Taf Fechan se estudiaron tres soluciones:

- Torres de lanzamiento y vigas en celosía tipo Bailey.
- Cimbras metálicas.
- Construcción en voladizo con cables externos, pretensados temporalmente para evitar la construcción por fases sucesivas.

alzado
nant ffrwd

nant - hir

planta

alzado y detalles

Entre los tres sistemas no existían grandes diferencias económicas, pero considerando que se tenía que construir un segundo puente sobre el embalse de Nant Hir, donde no se podían levantar soportes intermedios, se adoptó el método constructivo en voladizo en los dos puentes: Taf Fechan y Nant Hir.

En el Nant Ffrwd no pudo aplicarse dicho procedimiento por presentar características locales diferentes. En esta obra se utilizaron celosías Bailey, recuperadas de otras obras, y procedimientos más convencionales.

lanzamiento

nant - hir

planta

principios de la construcción en voladizo

El hormigón se va colocando en un encofrado móvil soportado por la parte del arco previamente construida. El arco queda suspendido por cables anclados en una torre provisional levantada sobre el tablero a la altura de los arranques del arco y estabilizada con vientos metálicos anclados en el estribo.

Por motivos de seguridad, los cables trabajan con una carga de 6 a 7 t y se podían ir tesando de acuerdo con

los avances que en el hormigonado se iban logrando.

El arco se estudió, en cada una de sus fases constructivas, como si se tratase de una viga en voladizo sometida a cargas conocidas y a tensiones desconocidas procedentes de los cables de suspensión. Al avanzar los voladizos, estas fuerzas se determinaron de manera que los momentos negativos y positivos del arco fueran del mismo orden y que las deformaciones estuvieran dentro de límites admisibles.

alzado y detalles

taf fechan

taf fawr

planta, alzado y detalles

Como los alargamientos de los cables de suspensión son del orden de 1/10 de las deformaciones del arco, éstas tienen una influencia insignificante en los esfuerzos de los cables, por lo que dichas deformaciones en los arcos se pueden controlar con bastante exactitud ajustando los esfuerzos. Las tensiones máximas inducidas en el arco durante la construcción del puente Taf Fechan fueron del orden de 10 kg/centímetro cuadrado.

Durante el hormigonado de los primeros trozos del arco fue posible lograr un control adecuado de esfuerzos y deformaciones por un tesado regulador antes de iniciar el hormigonado, es decir, los momentos flectores en los arranques no tenían que exceder del valor positivo admitido antes de hormigonar el trozo siguiente y no rebasar su valor negativo al terminar el hormigonado.

Al avanzar el brazo en voladizo, también aumentaba la variación del momento, por lo que en el último trozo fue necesario tesar los cables durante el hormigonado para mantenerse dentro de los límites permitidos.

construcción

sucesión de operaciones

Cuando el trozo de arco últimamente hormigonado tenía una resistencia de 175 kg/cm², generalmente a los tres días, se procedía al teso de los cables T y los de anclaje TA. Después, se aflojaban cuatro de las cinco barras McCall, que fijaban el encofrado deslizante al arco. A continuación, se descendía el encofrado por medio de un gato hidráulico que actuaba en la quinta barra McCall hasta que todo el peso del encofrado se apoyaba en dos piezas que abrazaban el arco. Estas piezas se apoyaban en rodillos que rodaban en la parte superior del arco para permitir correr el encofrado a la nueva posición; una vez en dicha posición, se ajustaba con los pernos McCall, quedando solidarizado con el último trozo hormigonado actuando sobre las tuercas de los pernos.

La operación siguiente consistió en tesar una serie de cables T y TA para contrarrestar la deformación del arco originada como consecuencia del peso del encofrado en voladizo. Posteriormente, se nivelaba la parte frontal del encofrado que, debido al propio peso del hormigón, experimentaba cierta flexión. Esta operación se realizaba con dos gatos colocados entre el arco y la parte posterior del encofrado. Después se fijaban las armaduras y cables T del nuevo trozo. Los cables T se anclaban en el arco por medio de piezas embebidas previamente en el arco. Finalmente, podía ser hormigonado el nuevo trozo.

La continuidad de operaciones se aseguró con el ciclo siguiente:

- a) Un trozo hormigonado.
- b) Un encofrado listo para avanzar.
- c) Encofrado ajustado con cables.
- d) Encofrado preparado para hormigonar.

Cada mitad de un arco se hormigonó en cinco trozos, dejando espacio suficiente en la clave para la unión entre armaduras. El hormigonado se hizo independientemente en cada encofrado. Cuando el hormigón tenía suficiente resistencia, las extremidades frontales de los dos trozos se solidarizaron con pernos McCall. Antes de esta unión, las dos mitades del arco se podían mover libremente gracias a la gran flexibilidad de la estructura.

La clave se hormigonaba por la mañana temprano, es decir, con la mínima temperatura diurna, con objeto de disminuir el riesgo de tensiones presentes en el hormigón fresco.

Estas construcciones en voladizo dan magníficos resultados—que mejoran a medida que la luz aumenta—y, además, el arco se halla sometido a compresiones en todo momento de la construcción, con lo cual el efecto de la deformación lenta se puede considerar como despreciable. El procedimiento permite crear las condiciones más ventajosas de tensiones en el arco por medio del control ajustado del esfuerzo de los cables de suspensión. El éxito del método estriba: en la técnica del pretensado y en el control de esfuerzos y alargamientos en los cables de suspensión.

Un arco articulado hubiera sido de más fácil construcción, pues con él se suprimen las barras iniciales que se proyectan al exterior en los estribos.

el puente Taf Fawr

Por diferenciarse notablemente esta obra de las tres expuestas, será objeto de particular descripción.

El puente tiene una longitud total de 143 m, su eje en curva circular de 330 m de radio y una pendiente de 1/200. Dadas las condiciones locales y la experiencia adquirida en otras obras, el contratista fue autorizado para modificar el proyecto apartándose de los métodos tradicionales, para llegar a una solución en voladizo a todas luces más ventajosa. Esto no obstante, el proyecto de ejecución fue controlado por el grupo de ingenieros consultores.

El tablero del puente es continuo en sus tres tramos de 38, 66 y 38 m de luz, respectivamente.

Los elementos resistentes son vigas prefabricadas de doble T, con unos 3 m de longitud y un peso aproximado de 10 t. Las vigas y las losas hormigonadas en obra que cierran el hueco entre alas forman un sistema hueco tipo cajón que se ha pretensado longitudinalmente. Los cables del pretensado tienen 25 mm de diámetro y una resistencia mínima a rotura de 66 t. Su trazado se extiende en la parte superior a toda la longitud del tablero, puesto que durante la construcción los momentos originados por las cargas dinámicas y el peso propio tienden a curvar las piezas. En el centro y en los estribos, los cables se disponen en la parte inferior para contrarrestar las flechas provocadas por las sobrecargas cuando el tablero se ha hecho continuo. Los cables de las zonas inferiores dan lugar a momentos secundarios y reacciones.

En los soportes, los 112 cables del pretensado se reparten en toda la anchura del tablero. A medida que avanza la construcción, los cables se van anclando en las vigas prefabricadas.

Las tensiones del pretensado se calcularon partiendo del siguiente principio: su esfuerzo en las vigas prefabricadas no debería acusarse en el hormigón fresco colocado en la obra para cerrar los huecos entre las alas de las vigas.

Para absorber los esfuerzos cortantes aparecidos en las juntas de las vigas, prefabricadas por trozos de 3 m de longitud, se procedió a colocar barras McCall, que, partiendo en diagonal de la parte superior de una de las dos vigas enfrentadas en la junta, terminaban en la parte inferior de la otra. Estas armaduras dificultaban el hormigonado de juntas, pero eran de gran utilidad para poder avanzar rápidamente el encofrado deslizante y su carro.

Los dos soportes intermedios son de hormigón armado, fijos con el tablero en su parte superior y articulados en la base; por tanto, los cambios de temperatura inducen momentos en los soportes.

Los esfuerzos longitudinales del puente son absorbidos por un estribo, que consta de tres elementos robustos, de hormigón armado, formando trípode y apoyado en una superficie irregular de la roca firme. El otro estribo, con cimientos sobre roca, tiene un rodillo, de hormigón armado, para permitir los corrimientos longitudinales que motivan las dilataciones por variaciones de temperatura.

construcción en voladizo

La suspensión de cada trozo de 3 m que se va añadiendo se realiza por medio de un bastidor metálico, formado con dos perfiles en U que mantienen las vigas prefabricadas en posición hasta que, después de hormigonar la junta y tesar convenientemente la armadura absorbente de esfuerzos cortantes, el nuevo trozo recobra su propia estabilidad y resistencia.

Con el fin de evitar la instalación de grúas, se montó un gato sobre cada soporte para elevar los trozos de viga prefabricados que después se corren hasta su posición final.

**Arranque de arcos en el puente de Nant Hir.
Brazos en voladizo del puente Nant Hir.
Iniciación de la construcción en voladizo, con
vigas prefabricadas, en el puente Taf Fawr.**

Las distintas fases de la construcción se pueden resumir así:

- I. Dos de los trozos, hormigonados a pie de obra o en taller de prefabricación, se hallan dispuestos para ser elevados. El soporte se mantiene fijo en su base (articulado originalmente) durante estas maniobras de elevación. Colocación del hormigón del primer bloque y del primer trozo en voladizo.
- II. Se inicia el avance en los dos sentidos.
- III. Debido a dificultades de acceso, se preparó un entramado auxiliar para facilitar la elevación de trozos prefabricados.
- IV y V. Terminación de la construcción en voladizo y cierre de la clave.

Las fases IV y V se subdividen, a su vez, en:

- 1) Construcción de los dos brazos, a excepción del cierre.
- 2) Tesado de los cables interiores de la parte del tablero hormigonada en obra.
- 3) Ajuste de nivel durante la construcción por medio de gatos que maniobran en la torre provisional.
- 4) Cierre de los últimos 5,80 m de la clave y tesado de los cables previstos para la clave.
- 5) Terminación de las losas entre estribos y accesos.
- 6) Desmontaje del castillete provisional levantado en el estribo este.
- 7) Conservar el castillete del estribo oeste en posición, con sus gatos en contacto con las alas inferiores de la estructura-cajón del brazo en voladizo, hasta que la unión en la clave sea definitiva.
- 8) Cortar las barras que temporalmente solidarizaron las articulaciones de la base de los soportes.
- 9) Tesado de los cables que pasan a través de los trozos núm. 20 en la parte central.
- 10) Desmontaje del castillete auxiliar del estribo oeste.
- 11) Hormigonado de las losas en voladizo correspondientes a la parte inferior y superior del tablero en los trozos núm. 20.
- 12) Hormigonado de la losa del tablero entre los trozos núm. 20, dejando un hueco que permita el paso de un hombre.
- 13) Tesado de las armaduras de las losas hormigonadas en obra.
- 14) Terminar los pasos definitivamente.
- 15) Desmontaje de los bastidores utilizados durante la construcción en voladizo y contrapesos.
- 16) Terminación de detalles.

Estas obras han sido controladas por el estudio técnico Rendel, Palmer y Tritton, ingenieros consultores del Ministerio de Transportes, y los arquitectos Alex Gordon and Partners.

La construcción fue realizada por el consorcio Christiani-Shand.

Fotos: STANLEY TRAVERS

Ponts routiers de montagne

Rendel, Palmer et Tritton, ingénieurs; Alex Gordon et Partners, architectes.

La réforme du tracé routier entre Hirwaun et Abergavenny, dans la zone appelée «Heads of the Valleys», a provoqué la construction de quatre nouveaux ponts qui, pour leur situation et le terrain accidenté, ont été l'objet d'études toutes particulières.

L'adoption de méthodes traditionnelles, étant donné la profondeur des dépressions à franchir, exige l'emploi de très grands cintres et supports. C'est pourquoi on eut recours aux systèmes de construction en encorbellement.

La solution définitive a donc été un arc en encorbellement pour trois des quatre ponts, et pour le quatrième, d'une travée centrale et deux latérales en portique avec intrados formant une surface courbe et deux supports intermédiaires de hauteur moyenne, élançés et articulés à leur base.

La description des trois premiers ouvrages a été faite en admettant une grande similitude entre eux et, par conséquent, comme s'il s'agissait d'un seul ouvrage. Le quatrième est différent et sa construction a été exécutée avec des poutres en poutre T, montées en encorbellement par travées de 3 m. Le bétonnage des vides entre les ailes de ces poutres, espacées de 3 m, a été effectué en chantier. L'ensemble de quatre de ces poutres et les dalles qui remplissent les vides entre les ailes forme une structure allégée type caisson. La hauteur de la structure ainsi constituée varie de 4 m 50 aux supports à 1 m 5 à la clé.

La construction en encorbellement commença par le bétonnage d'un premier bloc auquel s'ajoutèrent les éléments de poutre de 3 m, solidarisés à la partie déjà construite à l'aide d'armatures précontraintes.

Le système mixte d'éléments préfabriqués et de dalles bétonnées en chantier a été possible grâce à la précontrainte.

Mountain Road Bridges

Rendel, Palmer & Tritton, engineers; Alex Gordon & Partners, architects.

The new layout of the road between Hirwaun and Abergavenny, in the Weish district known as «Heads of the Valleys», has involved the construction of four new bridges, which because of the difficult terrain, were very carefully designed before the best solution could be discovered.

Traditional methods would have required the use of much scaffolding and tall supports, owing to the depth of the gorges to be traversed. Hence progressive cantilevering from either side of the span was chosen.

In three of the four bridges the final method was the one mentioned above. In the other, a treble portal frame, resting on two intermediate slender supports, hinged at their base, was preferred.

The first three bridges are all of very similar construction: in each case an initial mass at the springer was concreted, to which additional sections, each 3 m long, were added, and attached by means of prestressed reinforcement.

The fourth bridge was built with double T girders, cantilevered in 3 m sections. The 3 m spaces between the chords of parallel girders were concreted at the site. A set of four of these girders, and the slabs between the chords, constitute a box girders, and the depth of this structure decreases from 4.50 m over the supports to 1.50 m at the crown. The mixed system of prefabricated units, and slabs, concreted at the site, was made possible because of the prestressing.

Brücken in Gebirge

Rendel, Palmer und Tritton, Ingenieure; Alex Gordon und Partners, Architekten.

Im Zuge der Erneuerung der Autostrasse zwischen Hirwaun und Abergavenny, in einem Gebiet genannt «Heads of the Valleys», war auf Grund der starken Höhenunterschiede im Gelände der Bau von 4 Brücken notwendig, die ein eingehendes Studium erforderten, um die bestmögliche Lösung zu finden.

Bei Anwendung der traditionellen Baumethode wären zur Überwindung der starken Geländedepressionen besonders grosse Leegerüste und Stützen erforderlich gewesen, deshalb entschloss man sich, den Bau in frei kragender Form durchzuführen.

Demzufolge wurden drei dieser Brücken in Form von Kragbögen durchgeführt und die vierte mit Mittelfeld und zwei rahmenförmigen Seitenfeldern mit kurvenförmiger Innenfläche und zwei schlanken, gelenkig gelagerten Pfeilern mittlerer Höhe.

Die ersten drei Brücken sind sich fast gleich. Die vierte dagegen ist verschieden. Sie besteht aus 4 Doppel-T-Trägern, die in 3 m Abstand von einander in freikragender Form angeordnet und in Abschnitten von 3 m betoniert wurden. Diese vier Doppel-T-Träger bilden zusammen mit den Deckplatten eine Art Hohlkasten. Die Brückenhöhe schwankt demnach zwischen 4,50 m über den Pfeilern und 1,5 m im Scheitel.

Den Bau der frei kragenden Konstruktion begann man mit dem Betonieren von einem Abschnitt, an den man mittels Vorspannbewehrung den nächstfolgenden anschloss.

Die gleichzeitige Anwendung von vorfabrizierten und betonierten Teilen war Dank der Vorspannung möglich.