562 - 59

puente pretensado

PHILIPPE SARRASIN, ingeniero

La autopista de Ginebra a Lausana (Suiza) salva el cauce del río Aubonne, en las proximidades de Allaman, con un paso superior de unos 25 m de altura sobre el fondo del valle, el cual se extiende, transversalmente en esta zona, unos 300 metros.

Este puente contaba con varias soluciones preliminares. Una de ellas consistía en un tablero doble, con paso superior para la autopista, y el otro, inferior, para una carretera secundaria; esta solución no tuvo consecuencias posteriores por varias razones de tipo local. Otras cuatro soluciones fueron causa de estudio y de materialización en modelo reducido para examinar con minucia los detalles; en la primera solución, de estas cuatro, la obra comporta siete tramos con soportes verticales, cada uno de éstos subdividido en dos pilas, una para cada banda de circulación. La luz de los tramos centrales es de 34 m y de 31 m la de los laterales. La altura media de las pilas es de 18 m y el tablero era pretensado. Aunque esta solución no atrajo gran interés era la más económica.

Otra de las soluciones se componía de cinco tramos con luces de 50 m. La tercer solución tiene sus soportes formando una V, disposición favorable para el pretensado y los efectos de frenado. La cuarta tiene mayor número de apoyos, se adapta mejor al terreno y es, en síntesis, una variante de la tercera. En las cuatro soluciones se había previsto un tablero separado para cada banda de circulación, con lo que se conseguía un reemplazo de las cimbras y, con ello, una economía de un 10 % del coste de la primera solución.

Los estudios geológicos sobre el terreno pusieron de manifiesto que existían dos capas potentes de arena y grava bajo la tierra vegetal, debajo de las cuales yacían otras capas de peores condiciones resistentes. Todo esto permitió a las autoridades del Departamento admitir la solución número 1 como la más favorable.

Proyecto definitivo

Estudios más recientes han introducido modificaciones en el proyecto original, entre las que aparecen una elevación de 4 a 6 m del tablero; la altura máxima de las pilas es de 25 m; tienen 34 m de luz los tramos laterales y 37 m los centrales. La longitud total del puente es de 277 m y la anchura total de la obra es de 22,40 m, de los que deben sustraerse 1,60 m que pertenecen al hueco dejado entre los dos tableros correspondientes a cada banda de circulación.

El puente se compone de dos partes gemelas, que no tienen más parte común que los estribos y la infraestructura de los mismos. La obra se inscribe en una curva plana de 2.000 m de radio. La parte gemela de aguas arriba es de longitud algo mayor y ya está terminada. La otra parte se está hormigonando y sometiendo a un pretensado parcial y se espera esté terminada próximamente.

Cimientos

El estribo de la parte de Ginebra está constituido por un muro frontal rigidizado con contrafuertes y dos muros de acompañamiento apoyados en sus extremidades en dos pozos que se unen por medio de un tirante pretensado. Este estribo descansa sobre una marga muy dura. La carga de trabajo en la losa de solera es de 2,6 kg/cm², y se ha tolerado una presión de 4 kg/cm² en el fondo de los pozos.

En el estribo de la parte de Lausana parecía posible cierta inestabilidad superficial de las capas del terreno. El muro frontal de este estribo se apoya directamente sobre pozos que descienden hasta una capa profunda de marga muy compacta.

Las soleras de cimientos reparten una presión de $2,5 \text{ kg/cm}^2$, y en el fondo de los pozos la carga es del orden de 50 kg/cm^2 . Las pilas se han apoyado sobre pilotes en las zonas en que se descubrió la existencia de una capa de barro. La presencia de esta capa de barro obligó a reforzar las armaduras de las soleras de cimientos.

A pesar de las cargas impuestas, relativamente bajas, los geólogos eran de la opinión que debía esperarse un asiento de unos 9 cm; esto, no obstante, en el proyecto no se esperaba asiento alguno de más de 1 cm, y de 2 como máximo. Sin embargo, se ha introducido un coeficiente de seguridad admitiendo un asiento diferencial de 4 cm, para las pilas 2, 6 y 7, y de 2 cm, para las 3, 4 y 5. Para parar a estos asientos, bastante improbables, se han reforzado las armaduras. Hasta el momento, y de acuerdo con los datos obtenidos, los asientos han sido del orden de 2 mm en ciertas pilas, de 4 mm en otras, y completamente inexistentes en los estribos.

Superestructura

La obra se divide en tres trozos: dos laterales, que van de los estribos al tramo central, rebasando en voladizo unos 5,50 m, y un tercer trozo central, que descansa sobre estos dos voladizos. Este trozo central está constituido por una viga simplemente apoyada y de 26 m de longitud.

Los apoyos en los estribos son móviles, y el tablero se ha empotrado elásticamente en casi todos los soportes. La razón de esta subdivisión de la obra en tres trozos tiene su origen en que en una estructura pretensada hay que tener en cuenta las retracciones directas, elásticas y de fluencia. En una primera aproximación se puede considerar que alcanzan un 10 % de la longitud total de la obra, lo que da lugar a la presencia de esfuerzos considerables en el sistema hiperestático. En el sistema elegido los soportes números 3 y 4 se pueden considerar como puntos fijos, y por tanto, en el conjunto, la distancia máxima práctica para estos efectos no rebasa los 37 metros.

La longitud y sinuosidades del trazado de los cables de pretensado se ha reducido cuanto ha sido posible para disminuir el porcentaje de pérdidas por rozamiento.

Si bien, y gracias a la apropiada elección de los centros de desplazamiento, ha sido posible mantener esfuerzos razonables en los soportes, y los movimientos en los estribos y tramo central son bastante grandes. Aunque las reacciones que limitan los movimientos irreversibles en los apoyos son pequeñas, se han tomado las precauciones necesarias para la colocación de gatos que permitan elevar convenientemente la obra deformada. Estas operaciones darán comienzo próximamente en el puente gemelo de aguas arriba.

La losa se apoya sobre las vigas longitudinales espaciadas a 2,60 m y vuelan al exterior formando ménsula de 1,30 m. La sección de estas vigas es en T sencilla, mientras que en los estribos, al unirse a la losa de compresión, su perfil es de doble T. Esto ha permitido: una mejor repartición de la inercia en soportes y estribos, así como una apropiada distribución de momentos; dar a los cables sobre los apoyos una excentricidad suficiente; cables uniformes a lo largo de cada viga, en los que el esfuerzo de pretensado es casi el mismo en toda su longitud (pérdidas mínimas), y localizar los anclajes en zonas próximas a los estribos y de fácil acceso.

Puesto que el número de cables es constante en cada viga, se ha podido concentrar la fuerza de pretensado. En los pórticos laterales, próximos a los estribos, se han superpuesto: 1 cable, de 300 toneladas, y uno, de 155 toneladas, en las dos vigas exteriores; un cable, de 300 toneladas, y uno, de 125 toneladas, en las dos vigas interiores. En la viga central, un cable, de 300 toneladas, en las dos vigas exteriores, y un cable, de 180 toneladas, en las dos vigas interiores.

Los cables interiores, de 300 y 280 toneladas, se han formado por la unión de dos cables de 150 y 140 toneladas. En las extremidades estos cables se dividen en dos, y sus anclajes están constituidos por cabezas de 150 toneladas.

Los cables de 300 y 280 toneladas han sido realizados por primera vez en el puente de Aubonne, pero los proyectistas ya habían utilizado un sistema análogo en el puente sobre el río Viège, donde los cables de 150 toneladas estaban constituidos por la reunión de 3 cables tipo Freyssinet de 50 toneladas.

El diámetro exterior de la vaina de los cables de 300 toneladas tiene 9,5 cm solamente, lo que ha permitido realizar vigas de 24 cm de anchura. El canto normal de las vigas es de 2,40 m, altura un poco elevada, pero ha resultado económica.

Fotos: PIERRE IZARD y V. RICH

Conclusión

El desarrollo de la técnica de los puentes de hormigón pretensado está íntimamente ligado a la concepción de la obra. El punto delicado en un proyecto de puente para carretera se halla, normalmente, donde coinciden los momentos positivos y las pérdidas por rozamiento máximo. Cada proyecto se apoya sobre el dilema: aumentar la excentricidad de los cables o limitar el peso propio tan nefasto en los tramos.

Con frecuencia, este problema se ha resuelto dando un acartelamiento a las vigas, lo que, en general, no es interesante, porque se desplaza el eje neutro de la pieza y limita las posibilidades de elevar los cables.

En las grandes luces, la verdadera solución reside en el empleo de cables que ofrezcan una fuerza importante de pretensado dentro de vainas que no sean encombrantes. Esto permite adoptar vigas delgadas y de espesor constante en toda su longitud.

La construcción del puente de Aubonne ha suscitado la aparición de nuevos tipos de cables, más robustos y más ventajosos.