E. TORROJA

puentes en Marruecos

563 - 65

puente Dar Drius

1959

puente Amzez

1959

puente Sebou

1959

puente Aoudouz

1961

La "Société Marocaine d'Exploitation des Entreprises Fernández" solicitó la colaboración de Eduardo Torroja, como proyectista, para presentarse en conjunto a los concursos sobre puentes, convocados por el Ministerio de Obras Públicas del Reino de Marruecos. De entre las obras realizadas se presentan en este artículo cuatro puentes, que forman un grupo con características semejantes bien definidas.

puente Sebou

Las bases de los concursos de estas obras prohibían el empleo de estructuras metálicas, debido a la carencia de producción de acero en Marruecos, siendo, por tanto, obligado el uso de hormigón armado o pretensado. Como se verá, las luces de las soluciones propuestas no llegan a ser suficientes para justificar el empleo de vigas pretensadas, siendo, por consiguiente, el hormigón armado el material constitutivo de las cuatro obras.

Los ríos marroquíes se caracterizan por sus enormes e imprevistas avenidas, en las que el agua baja por el cauce presentando un frente de algunos metros de altura, arrasando, con un estruendo ensordecedor, cuanto encuentra a su paso. Esta característica crea un problema de construcción en cuanto al andamiaje necesario para hormigonar "in situ" el tablero del puente, siendo esta la razón específica que ha condicionado la solución estructural adoptada para aquél, y que, con pequeñas variantes, es la utilizada en los cuatro ejemplos presentes.

El tablero está formado por un cierto número de vigas maestras iguales, de hormigón armado, simplemente apoyadas, a las cuales el forjado sirve de cabeza de compresión. Para aliviar los peligros indicados en el párrafo anterior, las vigas maestras son prefabricadas y lanzadas. Para evitar el lanzamiento de elementos pesados se ha recurrido a prefabricar el alma de las vigas con una pequeña cabeza de compresión, capaz de resistir su peso propio y el del forjado que se hormigona "in situ", apoyándose sobre las vigas ya lanzadas.

sección transversal

Así, una vez endurecido el hormigón del forjado, las vigas quedan con su cabeza de compresión total, pudiendo soportar el resto de la estructura (pavimento, andenes, etc.) y el paso de las sobrecargas móviles.

Las flexiones sobre las pilas, para tramos simplemente apoyados, se pueden producir por el empuje del viento—flexiones normales al eje del puente—, o por efecto de excentricidad de la carga cuando está cargado un solo tramo de los dos que apo-

puente Sebou

Sebou

yan independientemente sobre una misma pila, y los efectos del empuje horizontal de frenado y de las variaciones térmicas, de retracción, deformaciones higroscópicas, etcétera, produciendo, estas últimas causas, flexiones paralelas al eje del puente. Con objeto de eliminar estas últimas flexiones se ha recurrido a disponer las pilas en forma de bielas, articuladas en su base y su cabeza, con lo que se eliminan las debidas a frenado y a deformaciones longitudinales del tablero. Para eliminar las debidas a excentricidad longitudinal de la sobrecarga, sobre cada pila apoya una sola viga, yendo la contigua apoyada sobre la viga anterior en lugar de cargar directamente sobre la pila. De esta forma, al estar la carga centrada, las pilas pueden ser de gran esbeltez y muy económicas. Las vigas del tablero transmiten el esfuerzo de frenado de unas a otras a través de los apoyos comunes, hasta un estribo o pila fija, encargada de absorber dicho esfuerzo.

ponte Amzez

Los problemas de cimentación que se han presentado son debidos, principalmente, al hecho de que el lecho rocoso, o apto para cimentar, se encuentra cubierto por un manto de acarreos de mayor o menor espesor, que hay que salvar, ya que, como consecuencia, los regímenes torrenciales de los ríos en cuestión, las socavaciones sobre la capa de acarreos son de gran importancia. La solución inicial de pilotes fue modificada después por otra más económica, y de gran rigidez frente a los posibles empujes producidos cuando el encepado de los pilotes quede descalzado por una fuerte socavación del lecho del río.

construcción

La cimentación está formada por cajones indios, de pared delgada (15 centímetros de espesor), hincados hasta llegar al firme, rellenos de arena compactada por vibración, sobre la que apoya la zapata superior, a modo de émbolo. De este modo, la misión del cajón indio es la de servir de entibación durante la construcción y la de crear una pared que resista los empujes de la arena interior, siendo ésta la que realmente transmite las presiones verticales al terreno. Este tipo de cimiento, muy económico, ha proporcionado excelentes resultados para cargas verticales hasta de 6 kilogramos/centímetro cuadrado sobre la arena.

Los estribos, elementos siempre caros, se han eliminado por el procedimiento de proyectar un puente con una longitud total superior a la estipulada en las bases del concurso, de tal forma que el terraplén de acceso, en lugar de quedar detenido por el estribo, cae hacia adelante, eliminando, por tanto, el empuje sobre éste. El incremento de longitud que se da al puente está estudiado de forma que el desagüe lineal de la obra sea igual al pedido en las bases.

A continuación, se detallan algunas características particulares de cada puente.

Sobre el río Sebou se han construido dos puentes para carretera, de una sola circulación: uno, de cuatro tramos, de 18,40 m de luz entre ejes de pilas, y otro, de tres tramos, de las mismas características.

El tablero incluye una calzada de 7 m de anchura y dos andenes laterales de 1 m; se ha resuelto con dos únicas vigas maestras, en lugar de tres que formaban el tablero sobre el Amzez. Esta disposición del tablero condicionó la forma de las pilas, constituidas por dos soportes, cuya forma se estudió para realzar el aspecto estético de la obra, rigidizados mediante una pantalla transversal.

puente Dar Drius

La cimentación, como en todos estos puentes, está realizada a base de cajones indios rellenos de arena compactada.

El puente sobre el río Aoudour es análogo en sus características al anterior, con cuatro tramos de 17 m de luz entre ejes de pilas.

El puente sobre el río Amzez es un pequeño puente carretero, de una sola circulación, con cinco vanos de 19,30 m de luz entre ejes de pilas.

La cimentación, constituida por cajones indios, es, en todo, análoga a la del puente de Dar Drius. Las pilas están formadas por pantallas de 30 cm de espesor, articuladas en base y en cabeza, con objeto de obtener las ventajas ya descritas.

puente Dar Drius

construcción

El tablero, con una disposición análoga a la del puente anterior, consta de tres vigas, habiéndose suprimido el encofrado necesario bajo el forjado, mediante la prefabricación de placas de hormigón, que llevan la armadura necesaria para el trabajo de forjado, y que, a la vez, tienen una misión resistente y sirven de encofrado perdido para aquél.

La cimentación del puente Dar Drius está formada por cajones indios rellenos de arena compactada, hincados hasta una profundidad máxima de unos 10 m. Las pilas están constituidas por dos columnas circulares sobre las que apoya una viga transversal que, a su vez, sirve de cargadero a las vigas del tablero. Estas pilas no están articuladas en su base, siendo suficiente su gran esbeltez para absorber sin fuertes flexiones los corrimientos de la cabeza debidos a deformaciones del tablero. Una de las pilas extremas del puente se ha hecho fija mediante un tornapunta que une su cabeza con la cimentación de la pila contigua, y es la encargada de absorber los esfuerzos de frenado.

El puente consta de cinco tramos, los dos extremos de 13,50 m de luz entre ejes de pilas, y los tres centrales de 18,80 m. El tablero incluye una calzada de 7 m de anchura y dos andenes laterales de 1 m, y está formado por cinco vigas prefabricadas, con pequeña cabeza de compresión. El forjado se hormigona sobre estas cabezas, que llevan, saliendo por encima del elemento prefabricado, las armaduras de cortante necesarias para ligarlo con la nueva cabeza de compresión que constituye el forjado. Transversalmente, las vigas están unidas mediante traviesas de gran rigidez, con objeto de repartir las sobrecargas entre aquéllas.