el viaducto de Sfalassà

ITALIA

S. ZORZI, L. LONARDO y S. PROCACCIA, Dres. ingenieros

sinopsis

569 - 15

Esta obra es realmente una de las más espectaculares de la autopista Salerno-Reggio Calabria. Se compone de dos viaductos laterales, de 517 m de longitud total, a base de tramos de hormigón armado pretensado, y uno central, metálico, de 376 m, salvando un valle de 250 m de altura máxima.

Dicho tramo central es el más interesante de todo el puente, ya que los pilares se han montado verticalmente, con rótulas en su base, que les ha permitido ser girados posteriormente a su posición definitiva.

Esta importante obra ha merecido el premio C.E.C.M. 1973 de la Convención Europea de la Construcción Metálica.

El viaducto que se reseña en este artículo es, seguramente, la parte más espectacular de la autopista Salerno-Reggio de Calabria. Salva el barranco de Sfalassà, con profundidad máxima de 250 m, y se compone de dos accesos, cuya longitud total es de 517 m, dividida en tramos de 45 m, de hormigón pretensado, y un tramo central, metálico, de 376 m.

La Administración Nacional de Carreteras convocó un concurso para la realización de este trabajo, el cual se adjudicó al proyecto presentado por «Impremoviter», de Milán, y firmado por los Dres. Ings. que figuran en cabeza de este artículo.

La luz de 376 m adoptada para el tramo central vino impuesta por las condiciones especiales del terreno, tanto en su composición geológica como en su profundidad, influenciando totalmente el sistema de construcción elegido, a base de dos partes laterales de 110 m y una central

tablero
sección transversal

de 156 m. Los dos puntales inclinados transmiten los esfuerzos perpendicularmente a los taludes, afectando lo menos posible a su equilibrio precario, a la vez que todo el conjunto se comporta perfectamente ante la acción de los violentos vientos de la región y de posibles seísmos.

Se eligió el hormigón para los viaductos de acceso por comportarse bien en luces y alturas reducidas, además de ser más económico.

La parte central es metálica por su ligereza, por su aptitud para ser prefabricada en trozos pequeños de fácil transporte y

elemento del pontón
sección transversal

planimetría

soldadura, y por su capacidad para resistir los estados más complejos de sollicitación y su variación durante la ejecución.

VIADUCTOS DE ACCESO

Los viaductos de acceso constan de tramos de 45 m, con dos calzadas, una en cada sentido de la circulación, sostenidas por 3 vigas prefabricadas de hormigón pretensado, colocadas a 3,20 m de eje a eje y unidas por riostras, cuya equidistancia es igual al 1/4 de la luz, que soportan una losa de 20 cm de espesor en hormigón armado.

Para el pretensado de las vigas se utilizaron cables enramados en torones de 15 mm de diámetro, y para las riostras se emplearon barras tipo Dywidag de 32 mm de diámetro. A efectos de sismicidad se ha previsto, además de botareles transversales, la unión longitudinal de los diferentes tramos entre sí y con las pilas, dejando un cierto juego para las dilataciones térmicas. Se forma así una cadena cinemática, capaz de absorber las fuerzas horizontales que actúan en el sentido longitudinal del viaducto.

Las pilas gemelas de los viaductos de acceso son huecas, con paredes de hormigón armado de 30 cm de espesor y 4×4 m en planta. Las más altas (hasta 95 m) están enlazadas transversalmente en su cima por una sólida riostra.

secciones de la pila

SECCION A-A

SECCION B-B

SECCION C-C

zócalo
pilas principales

0 1 2 3 4 5 10 m

En cada extremo de la parte metálica, no hay más que una sola pila para todo el ancho de la autopista. Estas pilas principales tienen como dimensiones $8 \times 13,60$ m en planta. Son igualmente cajones huecos, de hormigón armado, con dos diafragmas intermedios. El espesor de sus paredes varía desde 30 cm, en la cima, para alcanzar, por resaltos sucesivos, 90 cm en la base para las paredes frontales y 70 cm para las paredes laterales. Las dos pilas tienen 125,86 m desde el nivel superior de sus cimentaciones, que presentan en común

fases constructivas

fases constructivas

con los puntales del pórtico. Se aprovecha así el efecto estabilizador del empuje de estos puntales sobre el terreno.

Desde el punto de vista estático, la función de las pilas principales es doble: colaborar con la estructura metálica estando en servicio el puente y servir de anclaje para el montaje en voladizo. Las cimentaciones penetran desde 12 a 24 m.

PARTE METALICA

El comportamiento estático de la parte metálica central del viaducto es el de un pórtico articulado en los pies de los soportes y provisto de apoyos deslizables en cabeza de las pilas principales.

Este comportamiento varía, sin embargo, en función de las condiciones de carga: en efecto, los desplazamientos de los apoyos en cabeza de las pilas no son libres más que en una longitud de 90 mm, determinada por las dilataciones térmicas.

Para desplazamientos más grandes, debidos a condiciones de carga disimétrica, en el sentido longitudinal, la unión entre el tramo metálico y la pila adopta las características de una bisagra, obligando a la pila a colaborar en la absorción de los esfuerzos horizontales.

En el sentido transversal, el pórtico va empotrado en el pie de los puntales y en cabeza de las pilas, teniendo este último empotramiento una cierta elasticidad, en función de la rigidez torsional de dichas pilas.

El pórtico se compone de elementos en cajón, a base de chapas rigidizadas por planos.

El tablero consta de un cajón de 6,40 m de altura y 6,30 m de ancho, flanqueado por dos amplios voladizos, alcanzando la anchura total de 19,10 m prevista. Los voladizos están sostenidos cada 3 m por jabalcones tubulares, que terminan en los ángulos inferiores del cajón, y se integran en diafragmas rigidizadores.

El cordón superior de los cajones, que constituye el tablero, es una placa ortótropa formada por una chapa de 10 mm de espesor, con nervios longitudinales cada 30 m.

En las almas y cordón inferior, la equidistancia de los nervios longitudinales se eligió con el fin de obtener para las tensiones críticas de pandeo valores lo más homogéneos posible, bien se considere la inestabilidad del panel entero o la de los espacios entre nervios, tomada aisladamente. El espesor de las chapas varía de 8 a 20 mm para las almas y de 10 a 40 mm para el ala inferior.

En el interior del cajón se dispusieron, cada 6 m, como contravientos transversales de torsión, cruces de San Andrés formadas por angulares gemelos.

El acero utilizado es de la variedad Fe 52 C, salvo para los angulares que acabamos de citar, que son de Fe 42 C.

Los puntales inclinados miden unos 159 m de longitud, están articulados en su base y se unen al tablero a 108 m de las pilas principales. Están constituidos por dos cajones cerrados de sección constante (6×2 m). En el sentido transversal, la distancia de eje a eje de estos dos cajones varía desde 4,40 m en la cima hasta 25,12 m en la base, estando unidos por una serie de diagonales. El espesor de las chapas y planos rigidizadores varía de 8 a 26 mm. El material utilizado es el acero Fe 52 C, salvo para los diafragmas transversales, dispuestos cada 3 m, que son de acero Fe 42 C.

El peso total de la parte metálica es de aproximadamente 4.200 t (590 kg/m^2), del que un poco más del tercio (220 kg/m^2) es para los puntales.

CARGAS PREVISTAS Y BASES DE CALCULO

Para el dimensionado de la parte metálica se tuvieron en cuenta las cargas previstas por las normas en vigor en el país, y como sobrecargas accidentales se admitió la posibilidad del paso simultáneo de un tren de carga militar y de otro de carga civil, en cada sentido.

La carga repartida equivalente se eleva a 12,2 t/m.

Además de lo previsto para la circulación precitada, se han verificado los efectos de las acciones sísmicas transversales y longitudinales. En este último aspecto hay que advertir que el pórtico metálico es solidario de las pilas adyacentes, pero independiente de los viaductos de acceso.

Para la comprobación de las tensiones se observaron las dos reglas siguientes:

- a) Durante las diferentes fases de la ejecución se respetaron, en todo momento, los límites fijados para las tensiones en servicio por la norma UNI-CNR 10.011.
- b) En el cálculo del tablero ortótropo (cordón superior del cajón del tablero), se añadieron a las tensiones generales, dadas por el cálculo, las tensiones locales, causadas en diversos puntos por las sobrecargas accidentales, sin afectar estas últimas de un coeficiente de reducción.

TRABAJO EN TALLER

Este trabajo presentaba numerosas dificultades técnicas, habida cuenta de la complejidad de la estructura en cajón nervado y las exigencias concernientes a las tolerancias dimensionales. Con objeto de poner a punto el procedimiento de fabricación y estimar exactamente las correcciones a aportar a los diferentes elementos a fin de obtener piezas que tuvieran las dimensiones requeridas, se comenzó por fabricar elementos-muestras a escala natural.

Todas las soldaduras, manuales y automáticas, se ejecutaron en condiciones óptimas sirviéndose de plantillas que podían girar 360°.

Para los primeros tramos de tipo corriente, así como para los tramos de unión entre los puntales y el tablero (cuya geometría es diferente), se procedió a un montaje de ensayo completo en taller.

La estructura se fabricó en elementos de 12 m de longitud, cuyas dimensiones transversales no sobrepasaban el máximo de 3,12 m admitido para el transporte por ferrocarril.

Las uniones, tanto bulonadas como soldadas, se concibieron y ejecutaron conforme a las normas «Instrucciones para el cálculo, la ejecución y la manutención de las construcciones de acero» y «Código de buena práctica para la preparación de los bordes en la soldadura de las estructuras de acero». Para las uniones por fricción, en las que se utilizaban bulones 10 K y tuercas 8 G, se eligió un coeficiente de fricción $\mu = 0,51$, que presentaba una seguridad suficiente a la vista de los resultados experimentales.

Según el sistema de montaje elegido, el proyecto hace alternar cada 12 m juntas soldadas (sobre el área de ensamblaje) y juntas bulonadas (en posición definitiva), a excepción de las juntas en el cordón superior de los cajones del tablero, que son todas soldadas.

MONTAJE

Teniendo en cuenta la forma del barranco a salvar (gran profundidad, vertientes abruptas), se siguió un sistema que no necesita estructuras provisionales apoyándose sobre el terreno.

El sistema de montaje es del tipo «pesado», con pocos elementos en obra, pero de dimensiones y peso respetables. La longitud de estas «unidades de montaje» es, en general,

de 24 m y su peso máximo de unas 50 t, estando compuestas de varios elementos más pequeños fabricados en taller y ensamblados a pie de obra.

El transporte de elementos desde la fábrica estuvo asegurado por remolques con pórtico, de 17 m de luz y capacidad de elevación en el gancho de 15 t, o sea, el peso máximo de un elemento.

MONTAJE Y ROTACION DE LOS PUNTALES Y COLOCACION DEL TABLERO METALICO

En las áreas de ensamblaje se constituyeron los puntales a base de trozos de 24 m de longitud.

Después de colocar cuidadosamente las articulaciones en los pies y de anclarlas en las cimentaciones, se montaron los trozos unos encima de otros, en vertical, a lo largo de las pilas.

Al mismo tiempo se montaban también tirantes de retención uniendo la cima de las pilas principales (números 5 y 6) a las cimentaciones respectivas de las pilas 3 y 8. Estos «tirantes» debían absorber un esfuerzo de tracción de 2.200 t y asegurar el equilibrio del sistema durante la fase de construcción en voladizo, haciendo trabajar las pilas principales a compresión, con flexión muy limitada.

La regulación del desplazamiento horizontal máximo autorizado de la cabeza de pila (50 mm), se hizo mediante cuatro gatos de 500 t. Estos últimos se apoyaban, de una parte, sobre riostras dispuestas en cabeza del tirante, y de otra parte, sobre la pila, cuya pared estaba perfilada en consecuencia.

El puntal quedaba en posición vertical con auxilio de viguetas de unión, ancladas en la pila, que constituían plataformas de trabajo para ejecutar, cada 24 m, las juntas bulonadas de los diferentes tramos. Se habían previsto escaleras de acceso en el interior de las pilas.

Antes de acabar el montaje de los puntales se construyeron, sobre los tramos de hormigón, vigas auxiliares en celosía, destinadas a procurar un apoyo provisional a los tramos de tablero que iban desde las pilas hasta los nudos entre tablero y puntales.

La maniobra de rotación de los puntales desde la vertical hasta su posición definitiva a 45° exigió un largo estudio y un particular cuidado en la ejecución.

La inclinación de un puntal necesitaba al mismo tiempo el desplazamiento de la viga auxiliar en celosía. Esta última, de 100 m de longitud y de 10 × 6,30 m de sección, estaba unida al puntal por una articulación. La masa a poner en movimiento sobrepasaba las 1.000 t, correspondiendo 250 t a la viga en celosía. El movimiento de «caída controlada» del puntal era frenado por dos cabrestantes, emplazados al pie de la pila, que accionaban cables de 40 mm de diámetro. Gracias a juegos de poleas, dispuestos de una parte en cabeza de la pila y de otra parte sobre cada uno de los cajones del puntal, se obtenía una desmultiplicación de 1/14.

El extremo posterior de la viga en celosía, colocado sobre carros especiales, avanzaba a razón de 15 cm/min, sobre carriles dispuestos en el tramo de hormigón.

A media carrera, aproximadamente, la maniobra se detuvo el tiempo necesario para montar un caballete en el extremo posterior de la viga auxiliar. Este dispositivo debía permitir, al fin de la rotación del puntal, el descenso de la viga hasta su posición final, como soporte provisional del tablero metálico. En esta última posición, la viga auxiliar fue sólidamente anclada a la pila para retener el puntal hasta el momento en que aquella fuera soldada al tablero definitivo.

Dicho tablero está compuesto por:

- dos lados de cajón, de 24 m de longitud, cada uno de 45 t, obtenidos por soldadura de los elementos C-E-F;
- dos fondos de cajón (G) cuya longitud no era más que de 12 m, para facilitar el ajuste de las juntas a bulonar;
- dos unidades de cierre superior (elementos D) con todo el contorno solado, para evitar así la presencia de bulones en la chapa de tablero;
- cuatro unidades de alas (elementos A y B) sostenidas por los jabalcones laterales.

De este modo se construyeron primero cuatro tramos, de 24 m cada uno, apoyados por una parte sobre sus apoyos definitivos en cabeza de las pilas, y por otra parte, por intermedio de gatos, sobre la viga auxiliar en celosía. A continuación se realizó el tramo especial de unión entre el tablero y el puntal, cuya longitud era de 18 m. Este tramo primeramente se soldó al puntal, dejando detrás del mismo y en el tablero una junta abierta de 20 cm. Antes de cerrar esta junta por soldadura había que realizar los controles y ajustes altimétricos, y verificar las tolerancias dimensionales en el sentido longitudinal.

Una vez terminadas estas operaciones y soldada la junta, la estabilidad quedaba asegurada por el tablero. A continuación, y rápidamente, se montaron, en voladizo, tres tramos de 24 m a cada lado del viaducto hasta alcanzar, por una y otra parte, la clave del pórtico.

Las operaciones sobre las dos vertientes se efectuaron simultáneamente, salvo las maniobras de rotación de los puntales, para las cuales se emplearon los mismos cabrestantes, cuya fuerza era de 25 t en tracción directa. Todos los otros dispositivos se habían previsto por duplicado, con el fin de asegurar la rapidez y la buena ejecución.

Una vez finalizado el montaje en voladizo, quedaba entre las dos mitades de la obra un espacio abierto de unos 50 cm. La aproximación forzada de las dos partes, antes de la soldadura, ponía al pórtico en el estado de equilibrio estático deseado.

Las operaciones de cierre en la clave se desarrollaron en tres fases:

a) Aflojamiento de los tirantes parte posterior:

Para llevar a cabo esta operación sin sobrecargar los gatos (que, en fin de montaje, trabajaban a su capacidad máxima) se aprovechó la dilatación térmica del tablero y de los tirantes en sí, estableciendo el contacto en el centro del pórtico en el momento de la mínima temperatura diaria (poco antes del alba). De esta forma, el calentamiento progresivo provocaba automáticamente una cierta caída de tensión en los tirantes, y permitía aflojar los gatos y los tirantes en sí en condiciones favorables.

b) Interacción entre las dos mitades:

Se creó seguidamente en la sección de clave un momento flector positivo de 7.900 t/m, ligeramente superior al que corresponde al peso propio del pórtico. Una parte de la interacción necesaria (3.000 t) estaba ya obtenida por la operación precedente (aflojamiento de los tirantes). En efecto, al apoyarse las dos mitades de la obra una sobre la otra, al nivel del tablero, el esfuerzo de compresión resultante presentaba una excentricidad de más de 2 m con relación al centro de gravedad del cajón. El resto del esfuerzo necesario se obtuvo aplicando una tracción de aproximadamente 800 t entre las chapas de fondo de cajón de las dos mitades de la obra.

c) Soldadura de la junta de clave:

Posteriormente, y trabajando de noche, a temperatura casi constante, se soldó alrededor del cajón una chapa de unos 50 cm de anchura, medida deducida de la distancia existente entre las chapas de fondo del cajón y la inclinación de las almas.

Las operaciones de cierre en la clave duraron tres días.

CAPA DE RODADURA

La placa metálica del viaducto sirve de soporte a una capa delgada, de aproximadamente 40 mm de espesor, constituida por una parte silíceo de fina granulometría y un aglomerante bituminoso con polvo de caucho. Una capa de adherencia de algunos milímetros del tipo Elastra (betún y caucho) se había aplicado en caliente sobre la chapa previamente impregnada.

La elección del revestimiento a aplicar se llevó a cabo teniendo en cuenta las exigencias principales de: ligereza, flexibilidad, impermeabilidad, posibilidad de soportar variaciones importantes de temperatura, adherencia a la estructura metálica y estabilidad de la mezcla.

PUESTA EN CARGA

Para este punto se tuvieron en cuenta cargas accidentales importantes impuestas por las normas italianas para un puente de gran luz. Se situaron, simultáneamente, 88 camiones de un peso medio de 22 t, o sea, una carga total de unas 2.000 t, sin alcanzar por otra parte la totalidad de la carga prevista en el proyecto.

Se han realizado seis condiciones de carga diferentes con objeto de que todos los elementos del puente fueran sometidos al esfuerzo máximo previsto.

Además, mediante cargas excepcionales de 31 t, con dos carretones muy próximos de 12 t cada uno, se obtuvieron condiciones de carga total particularmente severas para la placa ortótropa.

Durante la puesta en carga se efectuaron medidas de dos tipos:

- a) Medidas de las deformaciones del conjunto de pórtico, tomadas sobre el extradós del cajón con ayuda de niveles de alta precisión (Wild N 3); y medidas de los desplazamientos longitudinales de la cima de las pilas principales (que son solidarias del pórtico metálico), tomadas desde bases exteriores mediante un teodolito Wild T 3.
- b) Medidas de las deformaciones locales: bien sea para recoger las tensiones en ciertas secciones de la placa ortótropa, mediante un calibre extensométrico (tipo Steger); bien sea para controlar la forma tomada por la sección bajo efecto de la torsión, por medio de flexímetros dispuestos en el interior del cajón.

Para limitar los efectos de ensoleamiento, a los que la estructura es muy sensible, se salpicó la carretera con una capa de arena húmeda.

fases constructivas

supresión de los
tirantes auxiliares y
cerrado de clave

obra terminada

Las deformaciones elásticas del pórtico y los desplazamientos de las pilas se calcularon previamente, para una movilidad de 90 mm entre pórtico y pila, y después sobre la base del movimiento real, dependiente de la temperatura.

La concordancia entre las deformaciones medidas y calculadas resultó satisfactoria, y la estructura manifestó un comportamiento perfectamente elástico, sin ninguna deformación residual apreciable.

La flecha máxima, en las condiciones de carga más desfavorables, fue de 354 mm, y el desplazamiento de la cabeza de la pila, en iguales circunstancias, de 120 mm.

résumé

Le viaduc Sfalassà - Italie

S. Zorzi, L. Lonardo et S. Procaccia,
Drs. ingénieurs

Cet ouvrage est réellement l'un des plus spectaculaires de l'autoroute Salerno-Reggio Calabria. Il se compose de deux viaducs latéraux, de 517 m de longueur totale, à base de travées en béton armé précontraint, et d'une centrale, métallique, de 376 m, franchissant une vallée de 250 m de hauteur maximale.

La travée centrale est la plus intéressante de tout le pont, car les piliers ont été montés verticalement, avec des rotules à leur base. Celles-ci ont permis aux piliers de tourner ultérieurement à leur position définitive.

summary

The Sfalassà Viaduct - Italy

S. Zorzi, L. Lonardo and S. Procaccia,
Dr. Engs.

This work is really one of the most spectacular construction on the motor road Salerno-Reggio Calabria. It consists of two lateral viaducts altogether 517 m long, with spans of prestressed concrete, and one 376 m long central metal viaduct. The viaduct bridges a valley at a maximum height of 250 m.

The above mentioned central span is the most interesting one since the columns have been mounted vertically on hinges at their base which makes it possible to turn them subsequently into their final position.

zusammenfassung

Der Sfalassà Viadukt - Italien

S. Zorzi, L. Lonardo und S. Procaccia,
Dr. Ingenieure

Dieser Bau ist einer der bemerkenswerten auf der Autobahn Salerno-Reggio Calabria. Er besteht aus zwei insgesamt 517 m langen Seitenviadukten mit Spannfeldern aus Stahlbeton und einem 376 m langen Mittelfeld aus Metall, welches ein Tal mit einer Maximalhöhe von 250 m überbrückt.

Das erwähnte Mittelfeld ist das interessanteste an der ganzen Brücke, da die Pfeiler vertikal auf Kugelgelenken montiert worden sind, welches es ermöglicht sie anschließend in ihre Endstellung zu drehen.