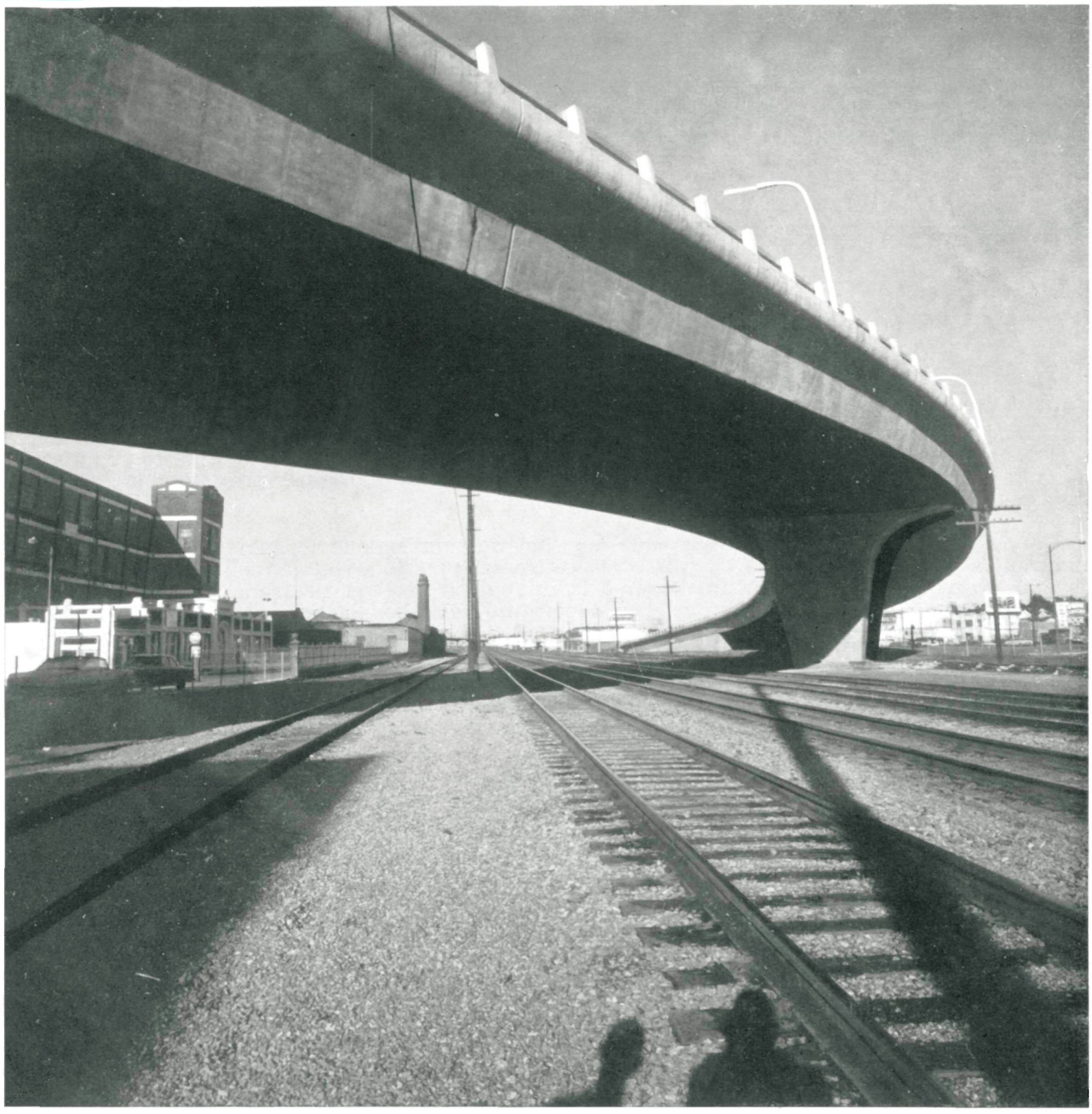


puente pretensado, en Oakland - U. S. A.

T. Y. LIN, FELIX KULKA y Y. C. YANG, ingenieros

562 - 94

sinopsis

Este puente, de cuatro tramos, pretensado en las cuatro dimensiones, salva una serie de vías férreas y ha obtenido diferentes premios.

Las alineaciones del eje forman ángulos de 47 y 20º, y como sus desarrollos correspondientes son curvas circulares se crean momentos importantes de torsión debidos al peso propio.

Lo más original de esta obra consiste en la ordenación del pretensado según las tres coordenadas espaciales y una cuarta, temporal, que nos da el valor de las tensiones en función del tiempo.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

El pretensado, muy denso en los tramos curvos, alivia el peso propio, permitiendo tratar estáticamente la estructura como si sus tramos fueran rectilíneos.

Debido a los grandes momentos de torsión, el puente se compone de siete vigas de sección en T, al objeto de disminuir su peso propio, y, con ello, el número de cables del pretensado.

Otra interesante particularidad de esta obra es el haber corrido los estribos 25 mm con el fin de ganar la compresión original que se perdería en parte, con el tiempo, a causa de la deformación lenta.

Se excluyeron los elementos prefabricados por no ser los más indicados para trabajar a torsión, y las juntas de dilatación se redujeron a dos por la misma causa.

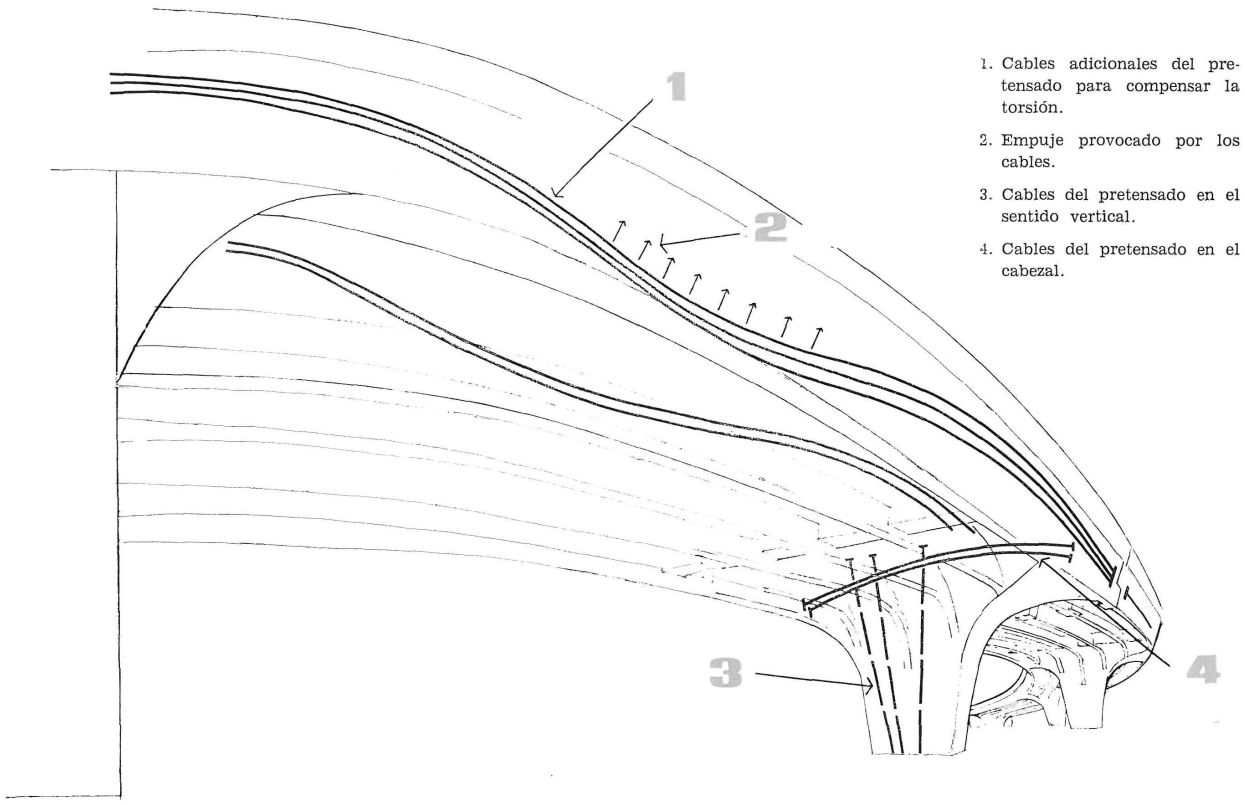
Introducción

El nuevo puente de Oakland, California, tiene un trazado de gran movilidad, con varios tramos curvos.

Su realización ha sido llevada a cabo con un coste mínimo, gracias al empleo racional del hormigón pretensado para lograr el equilibrio de cargas por gravedad en todas las dimensiones y compensar las fuerzas función del tiempo como cuarta dimensión. La combinación de proyecto, ejecución y aspecto arquitectónico permitieron la realización del puente dentro de los límites de un coste original previsto para una estructura de tramos rectos de menor luz.

Consta de cuatro tramos de 50 m de luz cada uno. Las dos curvas que forman el eje en el plano horizontal tienen ángulos de contingencia de 47 y 20°, respectivamente; esto da origen a grandes momentos de torsión y, con ello, no menos dificultades para llegar a la estabilidad deseada, neutralizando los referidos efectos gracias al empleo del hormigón pretensado, el cual permitió absorber las cargas del peso propio como si se tratase de tramos rectilíneos.

Las vigas principales se han curvado horizontal y verticalmente, curvaturas que se prolongan en los propios soportes actuando como nervios que refuerzan la estructura.



1. Cables adicionales del pretensado para compensar la torsión.
2. Empuje provocado por los cables.
3. Cables del pretensado en el sentido vertical.
4. Cables del pretensado en el cabezal.

Perspectiva del puente.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Cables del pretensado de soportes.

Dichos soportes, de sección rectangular, de 0,9 × 3,65 m en la base, van aumentando de sección a medida que crece la altura. El antepecho sigue las curvas del eje, logrando el efecto estético que originalmente exigieron las autoridades locales con el fin de estimular la línea de las futuras edificaciones en la proximidad del puente.

Se estimó que las atenciones de orden arquitectónico del puente encarecieron su coste en un 5 por 100; pero con el empleo del hormigón pretensado y especial cuidado en la redacción del proyecto se consiguió que esta estructura particular no resultase más cara que la de un puente convencional con tramos de menores luces.

Pretensado

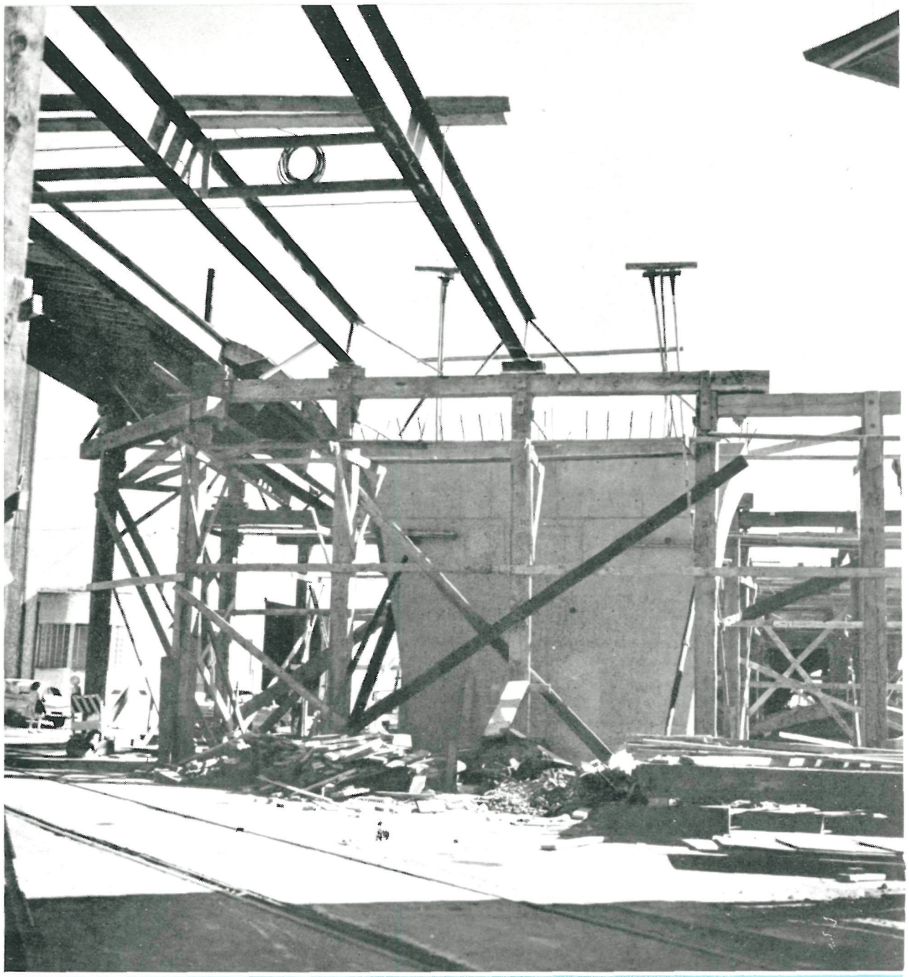
El puente se proyectó para que su pretensado fuera de cuatro dimensiones, necesidad que exigía el equilibrio de las cargas de gravedad, la reducción de momentos de torsión y para compensar las fuerzas y deformaciones función del tiempo.

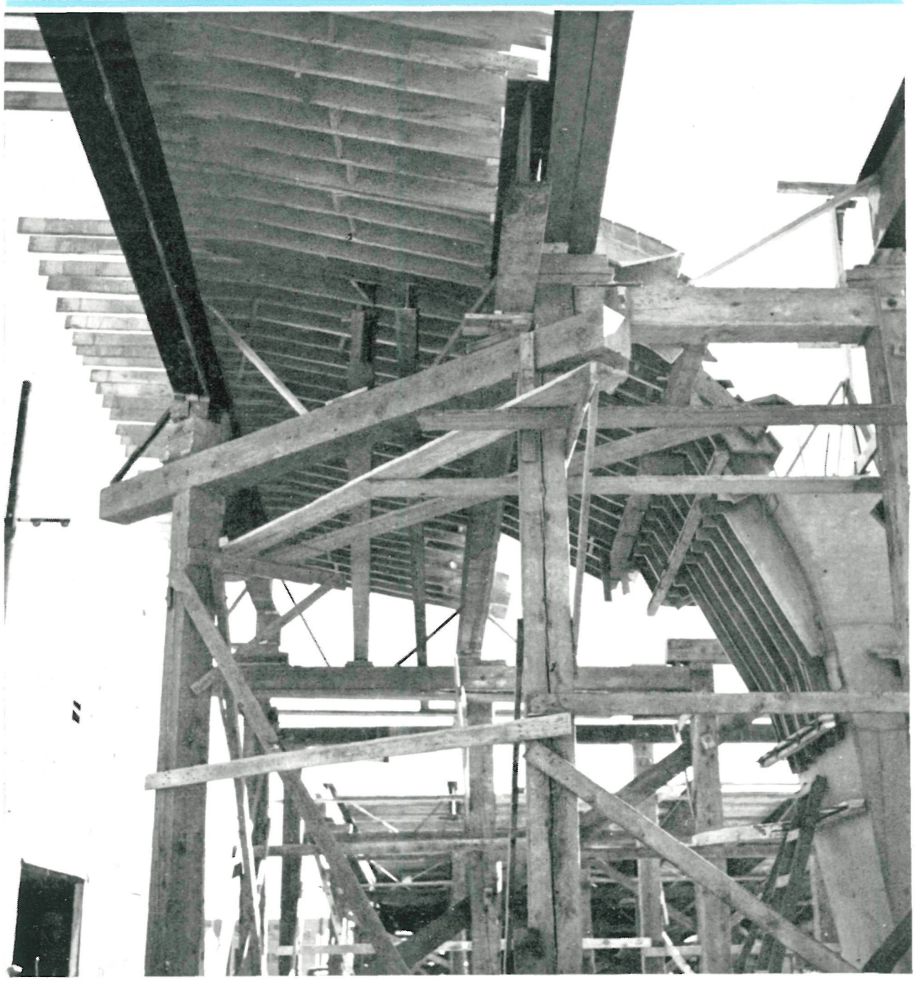
Los cables de las vigas ejercen una fuerza que equilibra al peso del tablero. Para contrarrestar los pares de torsión se postesaron las vigas exteriores con cables adicionales, cuyo objeto era el de oponerse a los efectos de torsión por gravedad en el tablero por medio de esfuerzos transmitidos a los diafragmas de arriostramiento entre vigas. Un cierto número de estas vigas exteriores lleva nueve cables, mientras que las interiores tienen sólo cuatro.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc) http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Cuerpo de un soporte.

Encofrados entre soporte y vigas.





Los soportes vuelan al exterior en su parte superior, y se han pretensado de tal forma que los cables que se extienden entre las extremidades de los dos voladizos creen una resultante de dirección hacia cimientos. Para controlar las cargas desequilibradas de los dos lados de cada soporte se han colocado en su interior cables verticales anclados en cimientos. De esta forma ha resultado que la estructura completa se halla pretensada y equilibrada en las tres dimensiones, por lo que sólo existen pequeños momentos flectores y de torsión en la estructura, la cual únicamente está sometida, prácticamente, a compresiones axiles debidas a su propio peso.

Fueron objeto de investigación las sobrecargas, impacto y efectos del viento, con objeto de asegurarse que se estaba siempre dentro de los límites que exigen las normas AASHO.

Para permitir la retracción elástica, la debida a la deformación lenta y los efectos de temperatura, se han previsto dos juntas de dilatación situadas en los dos tramos centrales. Se podían haber dispuesto más juntas, incluso en los tramos extremos; pero como su presencia disminuiría la resistencia a la torsión y la eficacia de la estructura y, además, exigirían más anclajes de cables en los extremos y la introducción de articulaciones costosas, se decidió construir los dos tramos extremos como si se tratase de estructuras rígidas. Los esfuerzos secundarios en las estructuras rígidas se absorbieron de forma no corriente, pero simple, que consistió en correr las bases de los estribos hacia el interior.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

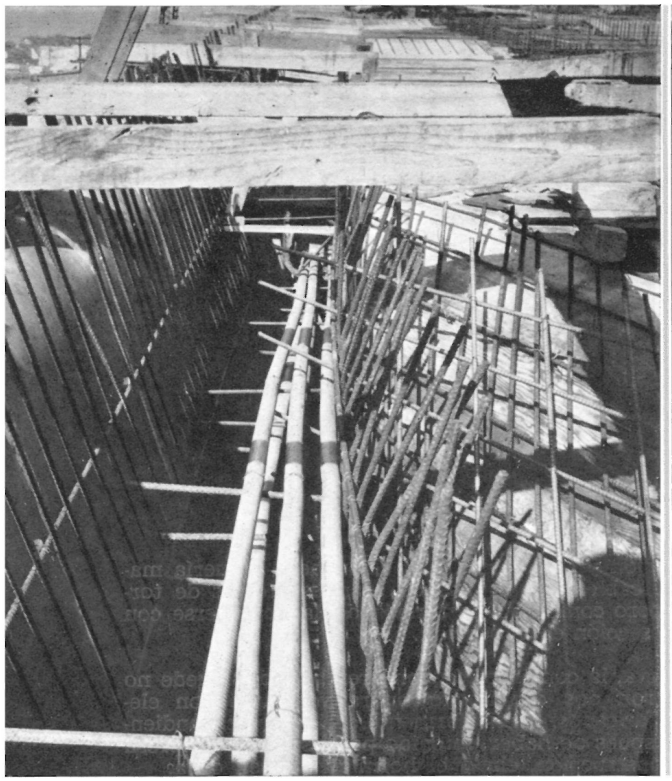
Se calculó, inmediatamente después de tesar, que el tablero de cada extremo se acortaría alrededor de 12,5 mm, por lo que se previó que, después de tesar, el estribo de cada tramo se tenía que mover 25 mm hacia el interior, lo que introduce un movimiento, en exceso, hacia el interior, de 12,5 mm. A los dos años, el tablero experimentará una nueva retracción de unos 12,5 mm, en cuyo momento el movimiento total resultará nulo. Al cabo de unas dos o tres décadas puede aparecer otra retracción de unos 12,5 mm. Nótese que, en cualquier momento, la porción no compensada de la deformación del tablero será algo superior a 12,5 mm, cifra que no se ha considerado excesiva, aun acumulándose con los efectos de la temperatura.

Estos métodos de compensación de deformaciones, aunque frecuentes en los arcos de hormigón, han sido aplicados a una estructura rígida por primera vez.

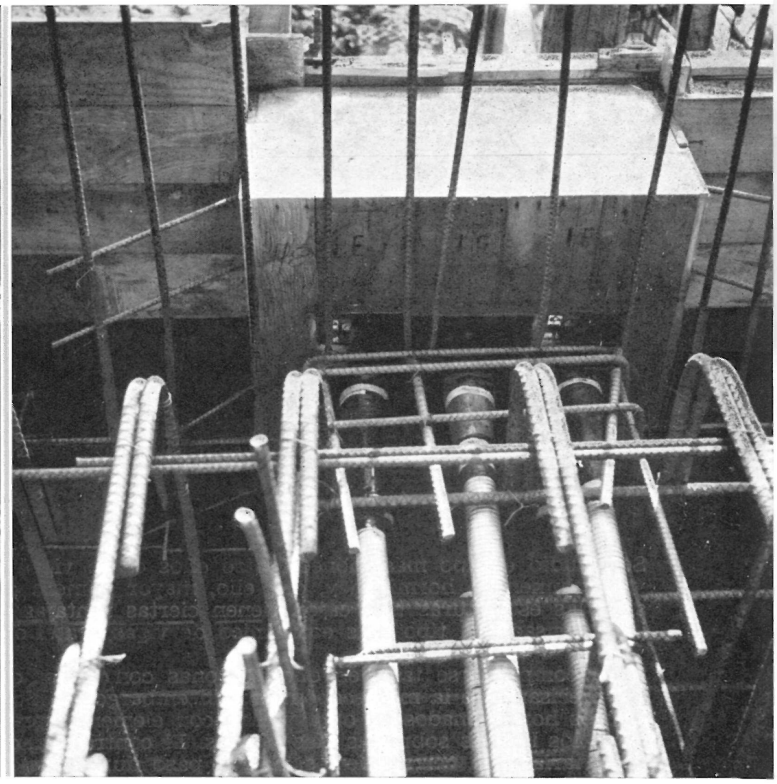
En cada base de los estribos se previeron juntas con placas deslizantes para permitir el movimiento de estribos. El movimiento de estos últimos se realizó colocando gatos hidráulicos en cada estribo para moverlo hacia el centro del puente. Al empezar esta operación sólo se necesitaba un esfuerzo de 100 t para iniciar el movimiento, esfuerzo que se iba aumentando a medida que avanzaba el estribo hasta 25 mm, para lo que se necesitó un esfuerzo de 600 t. Este comportamiento se explica porque el peso propio del hormigón del tablero se soportaba por el entramado auxiliar del hormigonado, peso que después, al avanzar el estribo, se iba transmitiendo al mismo, pues la estructura se descimbraba. Se pudo observar que el centro del tablero se levantó unos 25 mm, y la totalidad del mismo se hallaba despegada de la cimbra cuando el movimiento se había terminado.

El proyecto de ejecución

Antes de llegar a la redacción del proyecto definitivo se llevaron a cabo varios estudios comparativos suponiendo una estructura con vigas metálicas armadas que aprovecharían la acción conjunta, compuesta o simple. El coste inicial con estructura metálica resultaba mayor que la de hormigón, y si añadimos los gastos, también mayores, de conservación, comprenderemos la elección de la estructura de hormigón.



Cables para las vigas pretensadas.



Encofrado de una viga.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Se estudió el tipo más idóneo, entre ellos el de vigas cajón y el de simple T; el primero requería mayor volumen de hormigón y, con ello, mayor número de cables. En el caso de grandes efectos de torsión, las estructuras tipo cajón tienen ciertas ventajas; pero como aquí la torsión debía absorberse con el pretensado, el tipo más económico de vigas era el de sección en T sencilla.

Pudo comprobarse también que en zonas con eje en curva, la construcción con prefabricados puede no ser precisamente la más económica; sin embargo, se hicieron dos estudios comparativos: uno con elementos hormigonados en obra y otro con elementos prefabricados, particularmente de los correspondientes a los tramos sobre las vías férreas. El contratista, después de haber obtenido permiso de la empresa ferroviaria para cerrar ciertas vías al paso durante la construcción, eligió el hormigonado en obra.

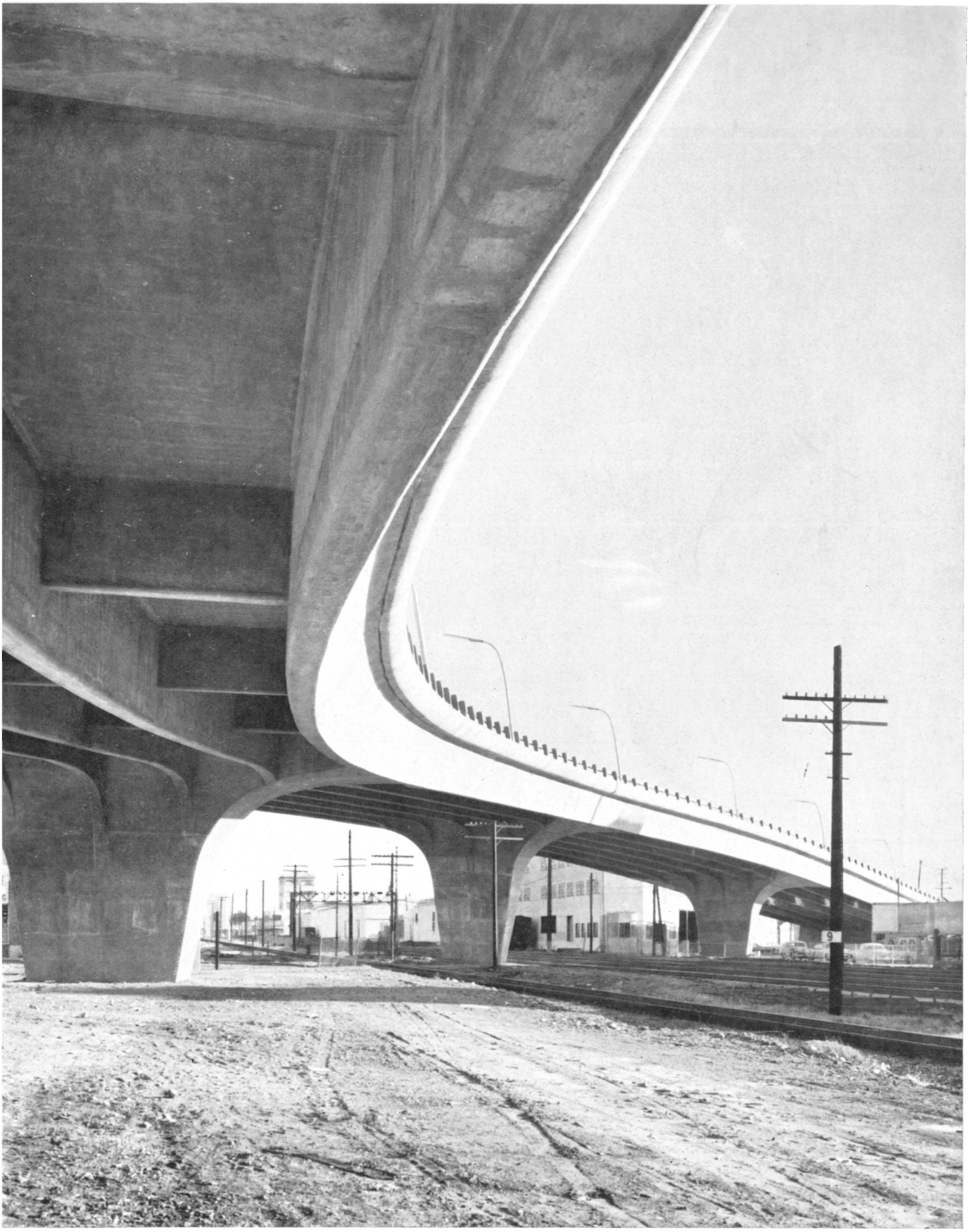
© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Con objeto de reducir el coste de los encofrados en los soportes curvos, que tenían diferentes alturas e inclinaciones, la parte superior de dichos soportes y estribos se proyectaron con la misma forma, lo cual permitió el reempleo de encofrados. La parte inferior de los soportes es un tronco de pirámide, de base rectangular, invertido. Entre el intradós de la estructura y la parte superior de los soportes existe una zona de transición variable en cada soporte; por tanto, el contratista sólo tuvo que preparar un encofrado curvo para la construcción de los tres soportes y una mitad de encofrado normal para los dos estribos.

Esta obra ha sido premiada tres veces: una por la revista «Progressive Architecture Magazine»; otra por el Prestressed Concrete Institute, y otra por la Cámara de Comercio de la ciudad de Oakland.

El proyecto se debe a una colaboración entre los estudios de Kaiser y Lin para la parte ingenieril y el de Car Warnecke para la arquitectónica.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es



Fotos: MORLEY BAER

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Pont précontraint à Oakland - U.S.A.

T. Y. Lin, Felix Kulka et Y. C. Yang, ingénieurs

Ce pont de quatre travées, précontraint dans les quatre dimensions, franchit une série de voies ferrées. Il a obtenu différents prix.

L'axe du pont présentant une ligne circulaire, sa structure est soumise à des effets de torsion importants. Le plus original de cet ouvrage est la disposition de la précontrainte selon les trois coordonnées spatiales et une quatrième, temporaire, qui nous donne la valeur des contraintes en fonction du temps.

La précontrainte, très compacte aux travées courbes, soulage le poids propre, permettant de traiter statiquement la structure comme si ses travées étaient rectilignes.

A cause des grands moments de torsion, le pont se compose de sept poutres en T, afin de diminuer le poids propre et, ainsi, le nombre de câbles de la précontrainte.

Une autre particularité intéressante de cet ouvrage est d'avoir rapproché les culées de 25 mm afin d'assurer l'état de compression originale qui se perdrait en partie, avec le temps, à cause de la lente déformation. Les éléments préfabriqués, n'étant pas les plus indiqués pour travailler à torsion, ont été exclus et les joints de dilatation ont été réduits à deux pour cette même cause.

Prestressed bridge in Oakland, USA

T. Y. Lin, Felix Kulka and Y. C. Yang, engineers

This is a four span bridge, which is prestreesed in four dimensions, and runs over a number of railway lines. The design has been awarded a number of prizes.

The axis of the bridge is circular, and consequently the weight of the bridge imposes torsional moments on the structure. The most original feature of this project is the placing of the prestressing along three space coordinates, and also the regulation of the prestressing forces as functions of time.

The prestressing is very densely distributed along the curved part of the structure. This counteracts the effects of the dead weight, and enables the structure to be statically considered as if its spans were straight.

Owing to the large torsional moments, the bridge consists of seven T section beams, to reduce the weight and the number of prestressing cables.

Another interesting feature of this design is that the springers have been readjusted 25 cm, in order to regain the original compressive constraints, which would have been lost in time, due to creep phenomena. Precast units were not used, as they were not the most apt to work under torsion, and for similar reasons only two dilation joints were fitted.

Spannbetonbrücke in Oakland - U.S.A.

T. Y. Lin, Felix Kulka, und Y. C. Yang, Ingenieure

Diese in vier Dimensionen vorgespannte Brücke mit 4 Feldern geht über eine Reihe von Bahngleisen und wurde mehrere Male durch Preise ausgezeichnet.

Da die Achse der Brücke eine Kurve beschreibt, ist sie entscheidenden Torsionsmomenten auf Grund des Eigengewichts ausgesetzt. Das Interessanteste an diesem Bauwerk ist die Anordnung der Vorspannbewehrung in den drei Raumdimensionen und einer zeitlichen Dimension, die uns den Spannungswert in Funktion der Zeit gibt.

Die sehr dicht angeordnete Spannbewehrung in den gebogenen Teilen vermindert das Eigengewicht, was erlaubt, die Struktur der Brücke vom statischen Standpunkt aus so zu betrachten, als ob ihre Felder gradlinig wären.

Auf Grund der hohen Torsionsmomente setzt sich die Brücke aus 7 T-Trägern zusammen, um ihr Eigengewicht und damit auch die Anzahl der Vorspannkabel herabzusetzen.

Eine weitere interessante Einzelheit dieser Brücke ist die Tatsache, dass man die Widerlager um 25 mm verrückt hat, um die ursprünglichen Druckverhältnisse aufrechtzuerhalten, die mit der Zeit auf Grund der langsamen Deformierung teilweise verloren gingen. Man verwendete keine vorgefertigten Teile, da sie nicht geeignet sind, Torsionen zu widerstehen. Aus demselben Grunde wurde die Gesamtzahl der Dehnungsfugen auf 2 reduziert.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc) http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es