

puente para la autopista **LAUSANA - SAN MAURICIO**

ROLAND HOFER, ingeniero SIA - EPUL,
del Estudio Técnico de J. CL. PIGUET de Lausana

562 - 82

sinopsis

La modernización de la red nacional de carreteras en Suiza y la apertura de la Exposición Nacional de Lausana que motivará un aumento considerable del tráfico, han dado como resultado el comienzo urgente de las obras del nuevo puente sobre el río Sorge, con dos direcciones independientes.

En la primera fase se construyó un solo puente y, posteriormente se construirá el otro, apoyándose para su cálculo y disposición en las normas suizas vigentes.

El puente tiene unos 180 m de longitud total, se eleva unos 40 m sobre el fondo del valle, tiene tres tramos de 48, 82 y 48 m de luz, respectivamente; es de hormigón y el tablero está formado por una viga cajón continua de canto variable de 1,80 m en estribos a 4,40 m sobre las pilas.

El tramo central se ha construido en voladizo, y los laterales, siguiendo los procedimientos clásicos de cimbra. La gran altura de las pilas, así como las pobres condiciones de sustentación del terreno, dieron lugar a un detenido estudio de los cimientos de las pilas y de los estribos.

Fue motivo de principal preocupación la serie de contraflechas que debían preverse para llegar a un cierre perfecto, en la clave, de los dos brazos en voladizo, para lo cual los cables de pretensado y sus tensiones de tesado se calcularon con extraordinario cuidado.

Generalidades

Dentro del cuadro de mejoras viales emprendidas por el Gobierno suizo, a partir de 1958, la región del lago Lemán ha tenido que contribuir con un esfuerzo notable, dada la proximidad de la Exposición Nacional de Lausana.

El objetivo inicial se dirigía hacia la realización de la autopista Ginebra-Lausana, actualmente terminada. Las previsiones de tráfico para la Exposición y el análisis de la nueva situación que crea la apertura del túnel para carretera en el Gran San Bernardo, convencieron a las autoridades de la necesidad de adelantar la fecha prevista para el comienzo de los trabajos de la autopista Lausana-Simplon.

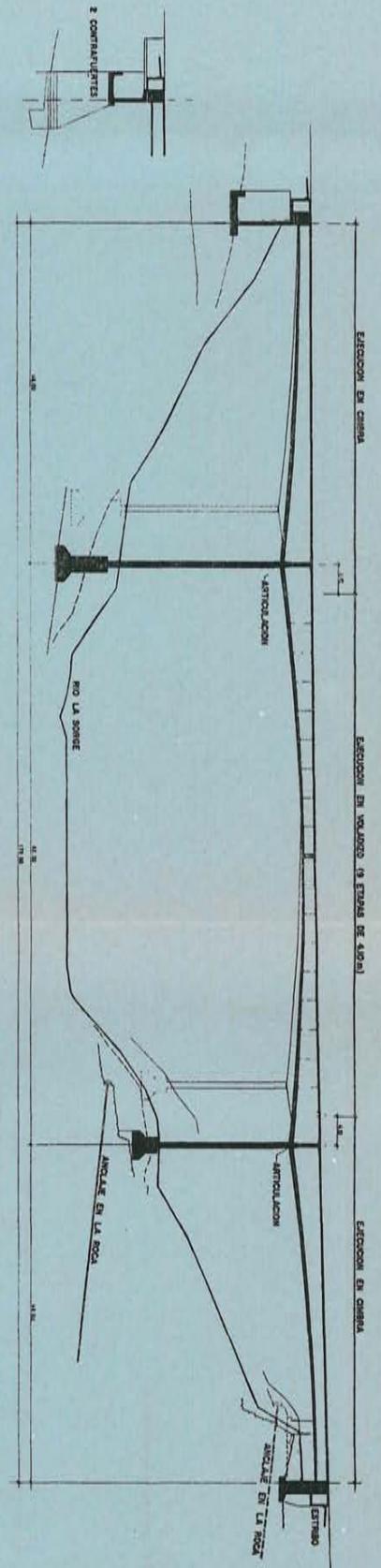
En el curso del año 1961 se decidió emprender los trabajos relativos a la derivación al norte de Lausana que servirá de vía de unión externa entre las grandes arterias Lausana-Ginebra, Lausana-Simplon y Lausana-Berna, cuyo período de terminación fue fijado para la primavera de 1964.

La construcción de este trozo, que se extiende unos 10 km en un terreno accidentado y difícil, implicaba el franqueo de cuatro valles bastante profundos con obras de fábrica de 150 a 400 m de longitud. El puente que presentamos en este artículo, denominado de la Sorge, constituye una de estas obras de fábrica.

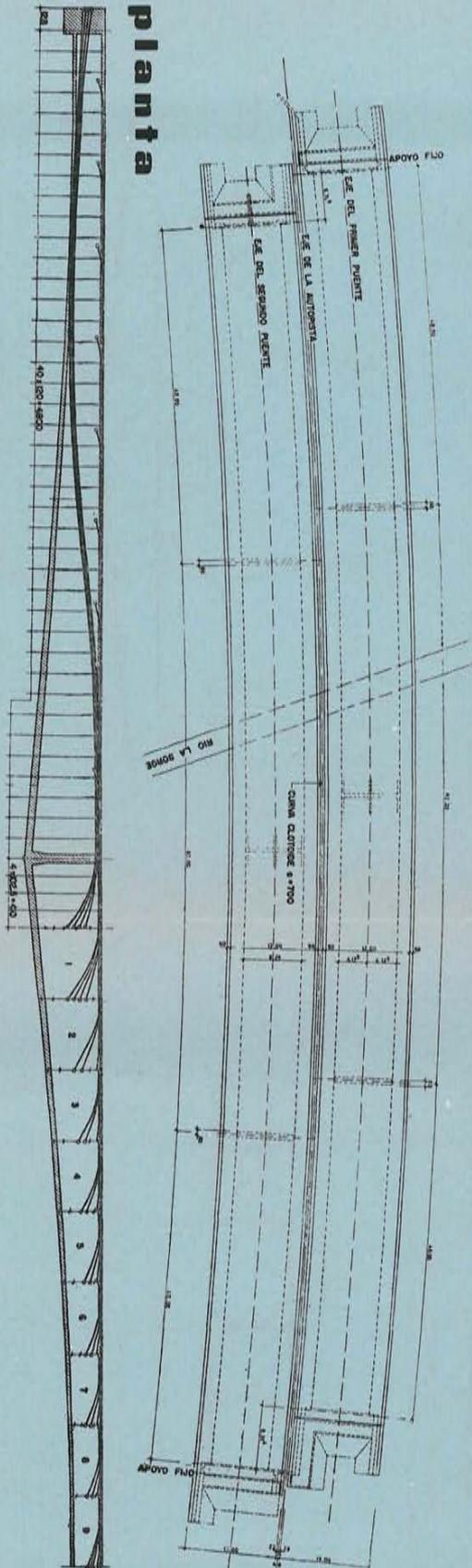
El puente terminado.



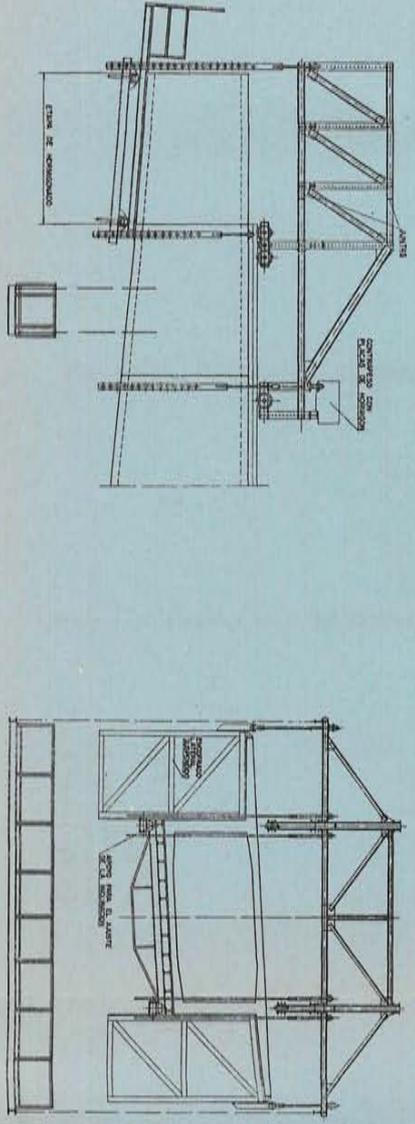
alzado



planta

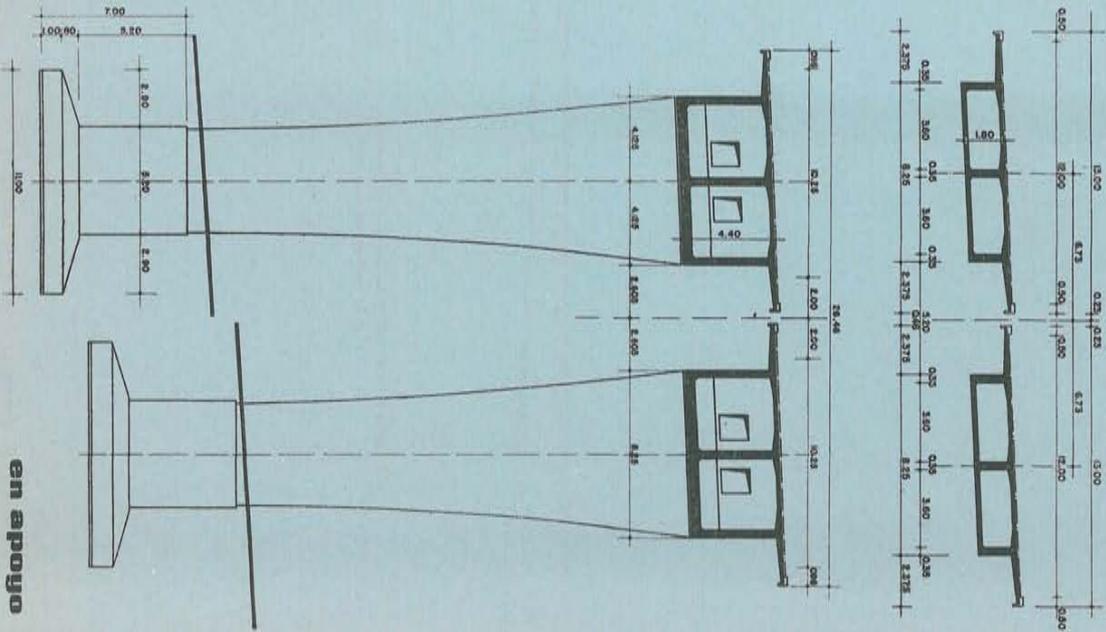


disposición de los cables de pretensado



carrero para el hormigonado

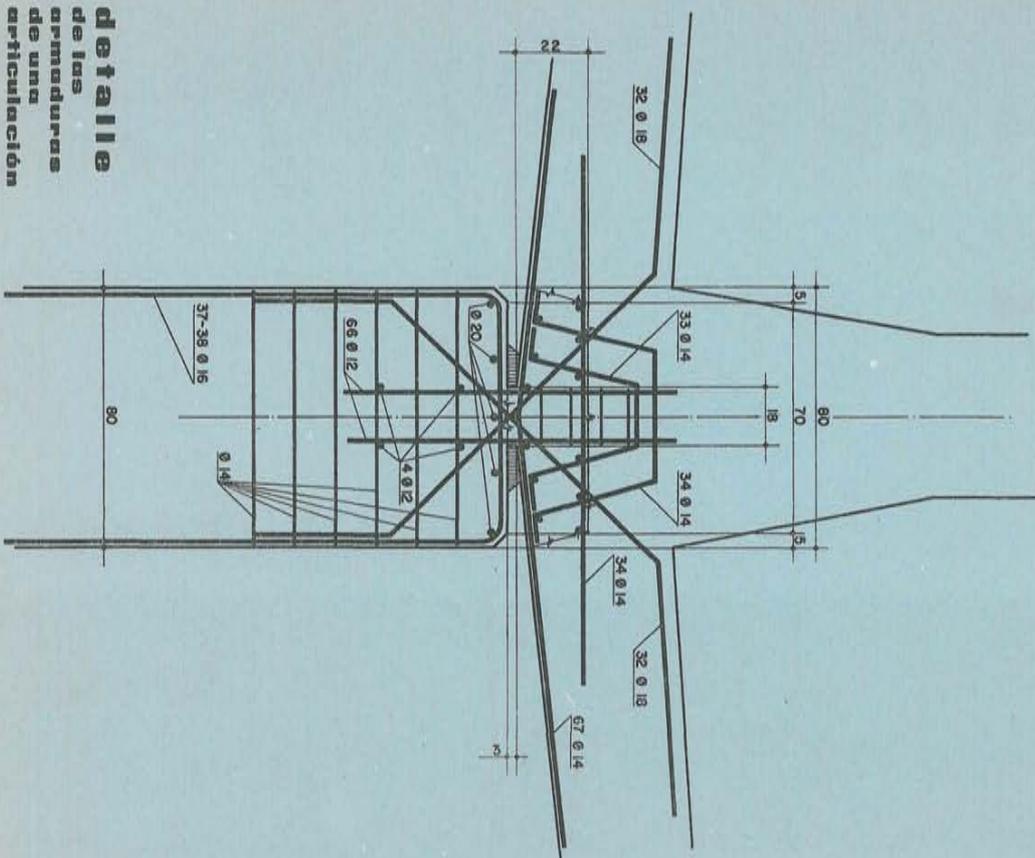
secciones



transversal

A principios de 1962 se comió el proyecto inicial de este puente al estudio técnico de J. Cl. Pignet, ingeniero civil SIA-EPUL, por la autoridad del Departamento Vial suizo. Se pretende salvar un valle por medio de un puente de unos 180 m de longitud. El nivel de la calzada se fijó a una altura también aproximada de 40 m sobre el fondo del valle. Señalamos que los períodos de ejecución impuestos, así como las consecuencias de las cargas mayoritarias de las empresas constructoras y suministradoras, planteaban graves problemas de mano de obra y materiales que tenían que resolverse concluyendo una obra que permitiese una depurada racionalización.

en apoyo



detalle de las armaduras de una articulación

Estudio del anteproyecto

Inmediatamente después de la recepción de los documentos básicos se emprendió el referido estudio. Es costumbre suiza construir los puentes para autopistas desdobladamente, es decir, un puente para cada sentido de circulación, lo que permite lograr una reutilización del material auxiliar.

En lo que se refiere a la derivación del norte de Lausana se ha previsto la puesta en servicio de la mitad de la anchura total de la autopista en el curso de 1964, dejando la otra mitad para una terminación ulterior. Se trata, pues, de un estudio conjunto de dos puentes similares de 13 m de anchura, de los que 12 m deberán ser de calzada útil. Uno de estos puentes deberá ser construido inmediatamente.

Soluciones que fueron estudiadas:

- un puente en arco;
- un puente con viga continua, de canto constante, sobre cinco tramos de 36 metros;
- un puente con viga continua, de canto constante, sobre tres tramos de 60 metros.

Después de un estudio comparativo se adoptó la segunda solución. Como el precio resultaba notoriamente elevado, debido principalmente a la presencia de la cimbra y a la importancia de cimientos y pilas, pareció oportuno el estudio de una nueva solución que permitiese reducir el costo de la cimbra y el número de pilas de gran altura que exigían llevar los cimientos a los flancos escarpados e inestables del valle.

Las condiciones geológicas excluyeron el puente en arco, pero permitieron prever la construcción económica de dos pilas: una sobre el rellano existente en la margen derecha y la otra sobre un espigón rocoso de la margen izquierda. Así se llegó a la solución de una viga continua con tres tramos de 48, 82 y 48 m, respectivamente. Quedaba latente todavía el problema de la cimbra, cuyo coste resultaba oneroso para la gran altura de 40 m en el tramo central.

La idea de una ejecución en voladizo se impuso. Trabajando profundamente sobre ella en este segundo estudio del anteproyecto nos permitió obtener una economía del orden del 20 por 100 con respecto al primer proyecto clásico, repartiendo la amortización del material especial exigido por este sistema de ejecución entre los dos puentes similares que debían construirse.

De acuerdo con la Administración y la Empresa adjudicatoria, así como teniendo en cuenta el interés que este proyecto presenta desde el punto de vista de racionalización del trabajo y de la reutilización del material auxiliar, se decidió pasar inmediatamente a la realización. Se empezaron los trabajos en el mes de junio de 1962 y se terminaron a finales del año 1963.

Concepción y ejecución de la obra

El puente sobre el río Sorge se presenta como una viga continua, de canto variable, con tres tramos de 48, 82 y 48 m, cuyo eje longitudinal tiene la forma de una curva clotoide. La sección transversal es un cajón de 8,25 m de anchura, de altura variable, y losa superior de calzada desbordando lateralmente a uno y otro lado de 2,35 m en voladizo. La altura total de la obra varía sinusoidalmente de 1,80 m sobre el estribo a 4,40 sobre pilas, para volver a 1,80 m en la clave del tramo central. El espesor de la losa inferior es 1/10 de la altura del cajón, mientras que la losa superior o de rodadura tiene un espesor medio de unos 20 cm. El espesor de las tres almas o tabiques verticales es de 35 centímetros.

La forma de las pilas ha sido estudiada sobre modelo reducido. Su anchura varía sinusoidalmente de 8,25 m en su parte superior a 5 m en el pie, mientras que su espesor es constante, de 80 cm, con una altura máxima de 28 m. La unión entre el puente y pilas se realiza por medio de articulaciones en el hormigón. Las pilas se han considerado como empotradas a sus cimientos. El estribo de la margen derecha constituye el apoyo fijo del puente, y las pilas tienen suficiente flexibilidad para poder considerarlas como pendulares. El apoyo fijo se ha construido con placas "STUP" horizontal y verticalmente dispuestas. El apoyo sobre el estribo de la margen izquierda ha sido concebido como móvil y logrado con placas también "STUP", horizontales, que absorben los corrimientos que se producen después de haberse bloqueado la obra en la clave. A la altura de este último estribo se ha previsto una junta de dilatación tipo Demag. Debemos señalar que los dispositivos de apoyo sobre estribos han sido proyectados para permitir el empleo eventual de gatos para el ajuste definitivo del cierre antes de ser sellada la clave.

En lo que respecta a cimientos, la presencia de lisos ha impuesto se tomasen precauciones especiales durante la ejecución del estribo de la margen derecha, de 7 m de altura, que se apoya sobre dos contrafuertes, espaciados a 10,4 m, que reparten la carga en una extensión aproximada de 15 m bajo el nivel de la calzada y sobre una capa de caliza arcillosa. Estos lisos, actualmente existentes por debajo de la referida capa, han sido aislados de posibles infiltraciones de agua por medio de inyecciones con lechada de cemento.

Los cimientos de la pila de la margen derecha apoyados sobre un banco de marga dura drenada, de la pila y del estribo de la margen izquierda sobre calizas arcillosas, no han planteado más problemas particulares que los propios de la ejecución de cuatro anclajes pretensados, en la roca y bajo el estribo de la margen izquierda, para evitar la posible abertura de grietas o fisuras verticales en el banco calizo.

Terminadas las pilas y estribos, la ejecución de la obra se ha desarrollado como sigue:

— Ejecución de la cimbra del tramo de la margen derecha, de 48 m de luz, con un voladizo de 4,10 m sobre el tramo central. Durante esta operación se colocaron los cables del pretensado dentro de sus vainas, mientras que las vigas longitudinales se dejaron en espera en el lado del estribo.

— Montaje del carro para el hormigonado del tramo central en la extremidad del voladizo de 4,10 metros.

— Ejecución de la mitad del tramo central en voladizo, conseguido durante nueve etapas sucesivas de 4,1 m de longitud cada una. El "planing" de ejecución preveía un ritmo de una etapa por semana, lo que implicaba una puesta en tensión de los cables con hormigones endurecidos solamente durante tres días.

Al final de cada una de estas etapas, un cierto número de cables se ponía en tensión y se inyectaba a la vez que el carro para el hormigonado se iba desplazando y colocando los encofrados en su nueva posición, mientras se prolongaban las vainas y se avanzaban los cables del pretensado dentro de éstas. Después se montaban las armaduras y la nueva etapa se hallaba dispuesta para las operaciones de hormigonado.

Durante estas operaciones de avance, la cimbra del tramo lateral fue desmontada y corrida al tramo restante, descansando sobre dos pilas provisionales, situadas en el tercio de la luz y en posición para la ejecución del tramo lateral de la margen izquierda que debía terminarse al mismo tiempo que la novena etapa correspondiente al voladizo de la margen derecha.

Después se procedió a desmontar el carro, transportarlo y montarlo a la altura de la pila lateral izquierda, mientras que la ejecución de la segunda parte del tramo central se continuaba siguiendo el mismo proceso.

Terminados los dos voladizos se procedió al reajuste de niveles y al bloqueo de la clave por medio de cables de continuidad.

Las ventajas de este sistema de ejecución son las siguientes:

— Reutilización de la cimbra y de los encofrados del tramo lateral derecho para la ejecución del tramo lateral izquierdo.

— Supresión de la cimbra y economía en los encofrados laterales e inferiores en el tramo central.

— Racionalización del trabajo lograda gracias a la repetición de operaciones semejantes.

— Obra estáticamente equilibrada en lo referente a la parte esencial de las cargas permanentes y del pretensado y, por tanto, estado favorable en lo que concierne a la economía del hormigón pretensado.

El pretensado ha sido realizado utilizando anclajes y cables tipo Freyssinet, de 12 cordones de alambre de 8 mm de diámetro, tesados con el esfuerzo inicial de 67,5 t. A la altura de las pilas existen 110 cables, de los que 86 se han colocado en la losa superior y 24 en las vigas. La variación de inercia se ha elegido de tal forma que el esfuerzo mínimo del pretensado necesario en cada sección disminuye, aproximadamente, linealmente a medida que uno se aleja de la pila. En cada etapa de la ejecución en voladizo un cierto número de cables se tesa y retiene, por lo que no es necesario de manguito alguno. Los cables se tesan a partir de sus dos extremidades con el anclaje de la parte en voladizo en una placa metálica encargada de reducir la sollicitación local del hormigón, joven de tres días, durante esta operación. El pretensado de continuidad se ha logrado con una treintena de cables cortos colocados en la losa inferior.

El carro para el hormigonado ha sido objeto de un estudio especial. Se caracteriza porque su parte inferior sirve directamente como encofrado. Su anchura corresponde a la del cajón, lo que permite la utilización de un solo encofrado lateral suspendido de la parte central superior del carro en todo el tramo central.

La estabilidad ha sido lograda por medio de anclajes en la parte posterior, de acero especial, siempre que el carro se hallaba sometido a la carga del hormigón.

Cuando el carro avanzaba, las péndolas de suspensión y anclajes se desconectaban, para lo cual se utilizaba una pasarela móvil, obteniéndose la estabilidad por la acción del contrapeso.

Hormigonado de una pila.

Cálculo de la obra

Esta obra ha sido calculada tomando como base las normas suizas actualmente en vigor.

El sistema es, por tanto, estáticamente determinado para el peso propio y la mayor parte del pretensado inducido. Por el bloqueo de la clave se solidarizan dos sistemas estáticos para constituir una viga continua de inercia variable.

Por razones constructivas no se ha previsto arriostramiento alguno más que en los apoyos y la clave. Fue indispensable el análisis del efecto de repartición en un cajón de altura variable sin elementos transversales de rigidez. Se desarrolló una teoría basada en el principio de mínima energía potencial, que ha mostrado claramente que este efecto es de importancia y que permite ampliamente no tomar en consideración el arriostramiento de un puente con viga cajón.

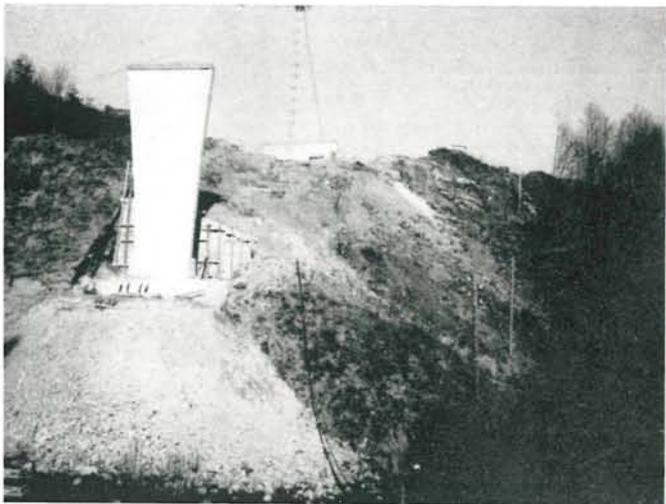
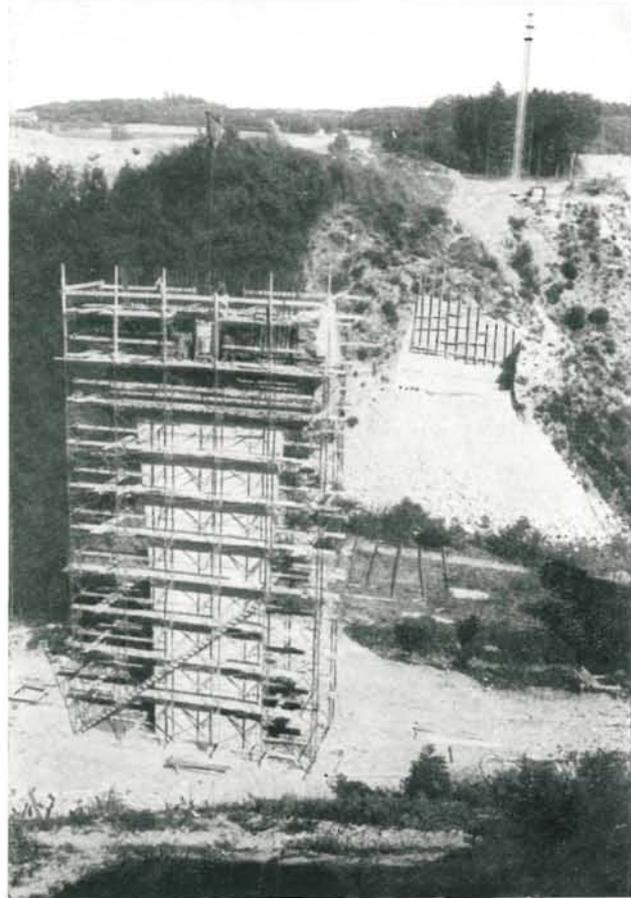
El problema más delicado de la obra ha sido el de la determinación de contraflechas que debían darse durante las etapas de la construcción en voladizo para que, una vez terminado el puente, su perfil longitudinal, impuesto por la Administración, sea el previsto.

Así se plantea un problema de biostática, es decir, de un conocimiento del pasado y del futuro de la obra, así como de su estado térmico.

En nuestro análisis hemos tenido en cuenta dos variables temporales:

— La edad del hormigón en el momento de aplicarle una carga que determina el módulo de deformación instantáneo y el coeficiente asintótico de fluencia.

— La duración de la carga que influye en el desarrollo de fenómenos de fluencia y de retracción.



Una pila terminada.

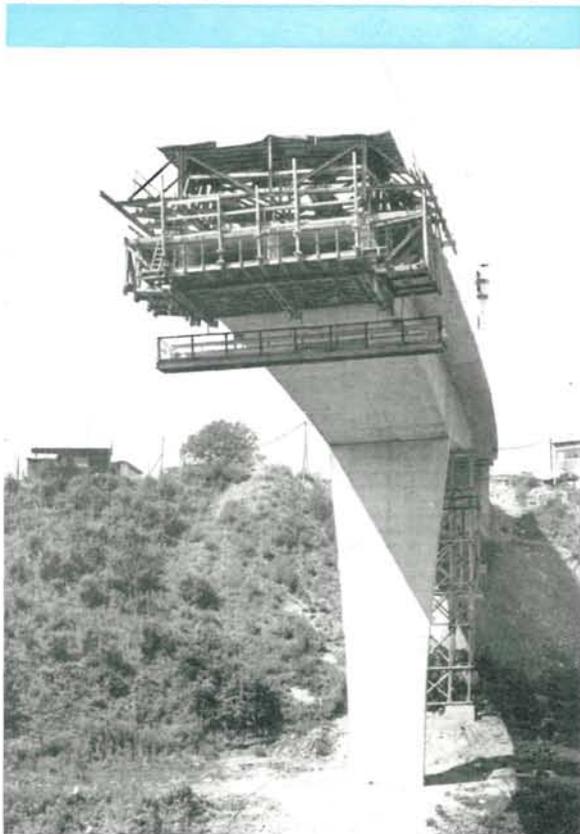


Cimbra de un acceso.



Voladizo y cimbra.

Blondín auxiliar y carro para el hormigonado.



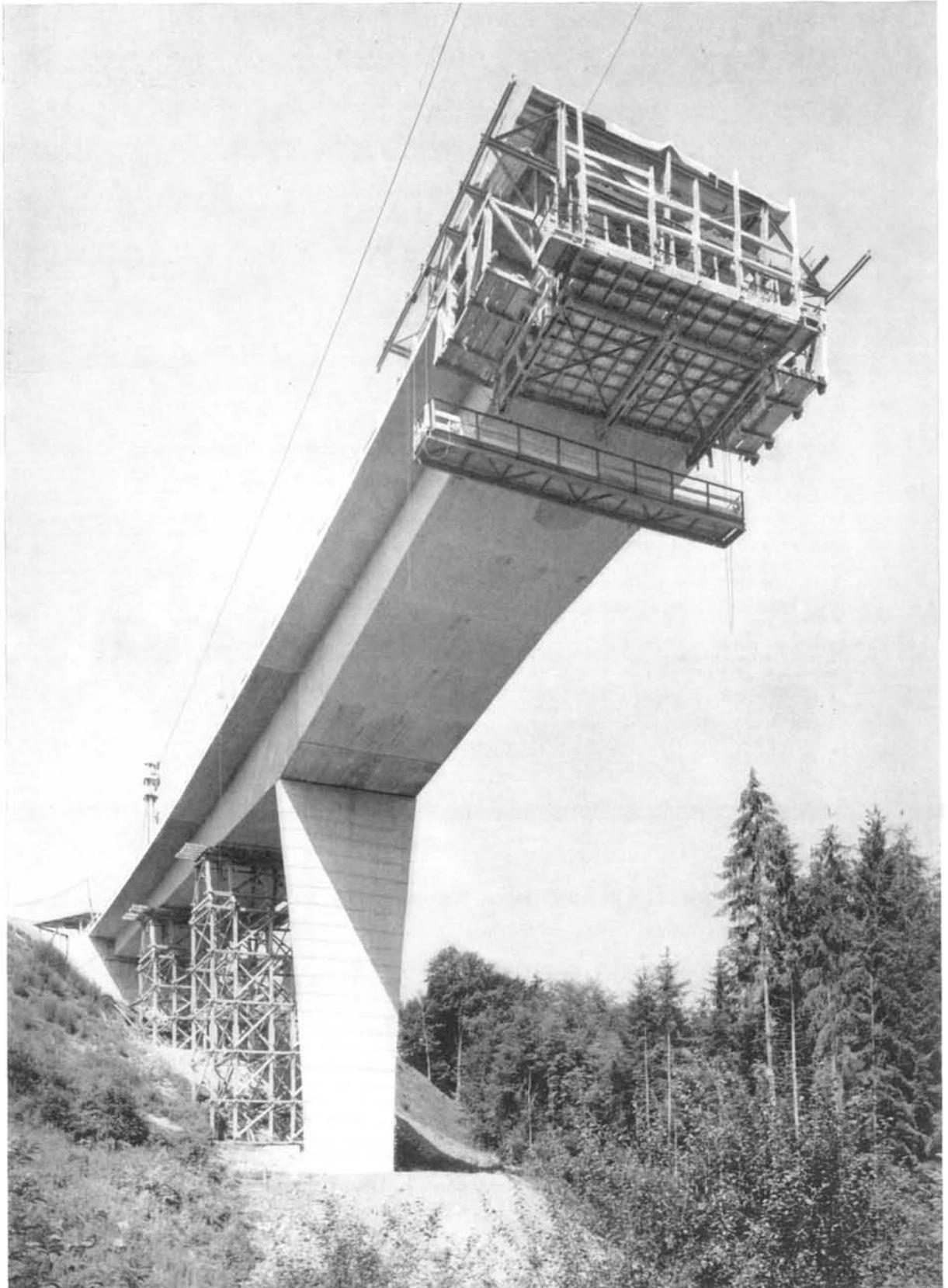
La mayor parte de los cálculos relativos a esta obra se han llevado a cabo con la ayuda de una calculadora electrónica de que disponíamos en los servicios "EPUL", lo que nos ha permitido afinar bastante profundamente ciertas investigaciones, a pesar del poco tiempo de que disponíamos para este estudio, ya que la obra debía ser puesta en ejecución rápidamente.

Conclusión

Los trabajos principales de esta obra se terminaron el 20 de noviembre de 1963 con la operación del sellado de la clave.

Así, a pesar de las dificultades encontradas en los trabajos de cimientos, que han exigido la entrega completa de la Empresa constructora en esta parte de la obra hasta finalizar en el año 1962, los plazos previstos de ejecución se mantuvieron.

Los métodos de ejecución adoptados han permitido enriquecernos con una información y satisfacción que, tanto en lo que se refiere a la Empresa constructora como al estudio técnico, son apreciables. Esta realización prueba que el principio de construcción en voladizo constituye un medio valioso para racionalizar los trabajos de construcción de puentes de grandes luces y sobre valles profundos.



Avance en voladizo.

Fotos: M. VULLIEMIN
y STAMM & SAXOD

Pont pour l'autoroute Lausanne-Saint Maurice

Roland Hofer, ingénieur SIA-EPUL du bureau technique de J. Cl. Piguet, de Lausanne.

La modernisation du réseau national routier suisse et l'ouverture de l'Exposition Nationale de Lausanne qui causera une augmentation considérable du trafic, ont eu pour résultat le démarrage urgent des travaux du nouveau pont sur la Sorge, de deux directions indépendantes.

Au cours de la première phase un seul pont fut construit et un autre le sera postérieurement, dont le calcul et la disposition sont régis par les normes suisses actuellement en vigueur.

Le pont, de béton, d'environ 180 m de longueur totale, s'élève de près de 40 m sur le fond de la vallée. Il se compose de trois travées de 48, 82 et 48 m de portée et formées par une poutre caisson continue de hauteur variable de 1,80 m sur les culées à 4,40 m sur les piles.

La travée centrale a été réalisée en encorbellement et les travées latérales selon les procédés classiques de cintre. La grande hauteur des piles, ainsi que les faibles conditions de sustentation du terrain ont donné lieu à une étude soignée des fondations des piles et des culées.

Le problème le plus délicat a été la série de contre-fèches qui étaient à prévoir pour arriver à un blocage parfait, à la clé, des deux bras en encorbellement. A cet effet, les câbles de précontrainte et leurs contraintes de raidissement ont été calculés avec un soin extraordinaire.

Bridge for the Lausanne-Saint Maurice Roadway

Roland Hofer, SIA-EPUL engineer of the J. Cl. Piguet technical office, Lausanne.

As Switzerland is modernising its road network, and the National Exhibition at Lausanne will also place increased demands on road transport, the construction of the new bridge over the river Sorge has been urgently started. This bridge has two independent sections for the traffic in each direction.

During the first phase a single bridge was built, and later a second one will be added. Present day Swiss road specifications are being used for the design of these structures.

The bridge is about 180 ms long, runs 40 m over the valley, and consists of three spans, of 48, 82 and 48 m length. Its concrete deck is a box section, whose depth varies between 1.80 m at the springers, to 4.40 m, over the piles.

The central span has been built cantilevering it from either side, and the other spans according to the standard practice in these cases. Owing to the great height of the piles, and the poor quality of the soil, a very detailed study of the subsoil was necessary, both below the piles, and at the two extremities of the bridge.

A special source of difficulty was the calculation of the various positive and negative deflections that had to be foreseen so that the two cantilevered branches should meet at the centre span. To achieve this, the prestressing cables, and their loading were planned most accurately.

Brücke für die Autobahn Lausanne-Saint Maurice

Roland Hofer, Ingenieur SIA-EPUL, vom technischen Büro J. Cl. Piguet, Lausanne.

Die Modernisierung des nationalen Strassennetzes in der Schweiz und die Eröffnung der Nationalausstellung in Lausanne, die ein beträchtliches Anwachsen des Verkehrs zur Folge hatte, waren der Anlass für den Bau einer Brücke über den Sorge mit zwei unabhängigen und in entgegengesetzter Richtung verlaufenden Fahrbahnen.

In der ersten Phase wurde zunächst die eine Fahrbahn gebaut, danach die andere. Bei der Berechnung derselben stützte man sich auf die gültigen Schweizer Normen.

Die Brücke hat eine Gesamtlänge von 180 m eine Höhe von 40 m über Talboden und Spannweiten von 48, 82 und 48 m. Die Brückenplatte besteht aus einem durchgehenden Kasetenträger mit veränderlicher Höhe (1,80 m über den Widerlagern und 4,40 m über den Pfeilern).

Das Mittelfeld der Brücke wurde frei schwebend gebaut und die Seitenfelder nach traditioneller Methode mit Leerge-rüsten. Die ausnehmend grosse Höhe der Pfeiler, sowie die schlechten Untergrundbedingungen machten ein eingehendes Studium der Pfeiler- und Widerlagergründungen notwendig.

Besondere Aufmerksamkeit beim Bau des Mittelfeldes wurde auf die Wölbung gelegt, die für jeden zu betonierenden Abschnitt vorgesehen werden musste, damit man einen einwandfreien Schluss der beiden Kragarme erhielt. Zu diesem Zweck wurden die Spannkabel und die Vorspannkraft mit ausserordentlicher Sorgfalt berechnet.