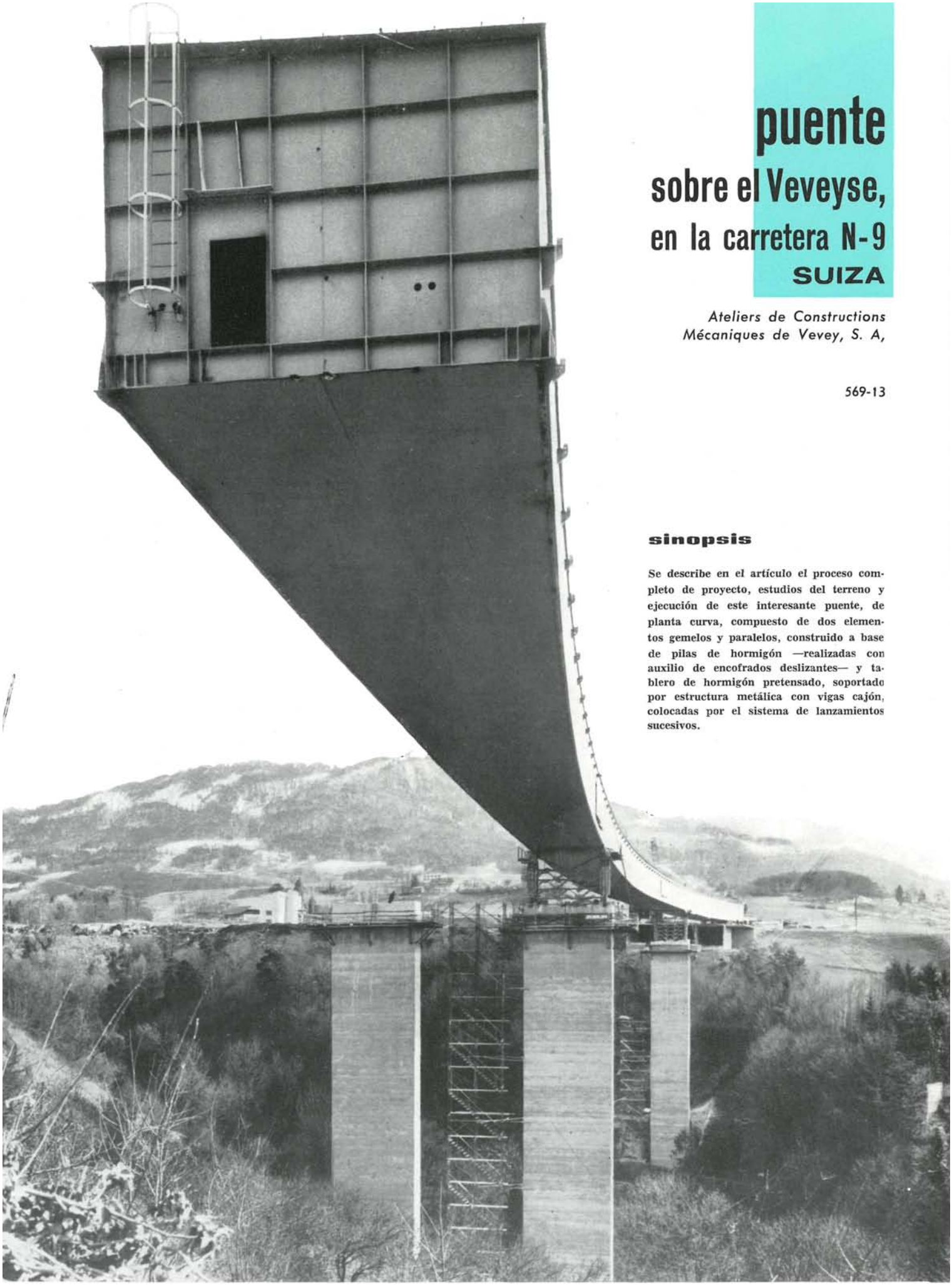
Informes de la Construcción Vol. 23, nº 221
Junio de 1970

puente sobre el Veveyse, en la carretera N-9 SUIZA

Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey, S. A,

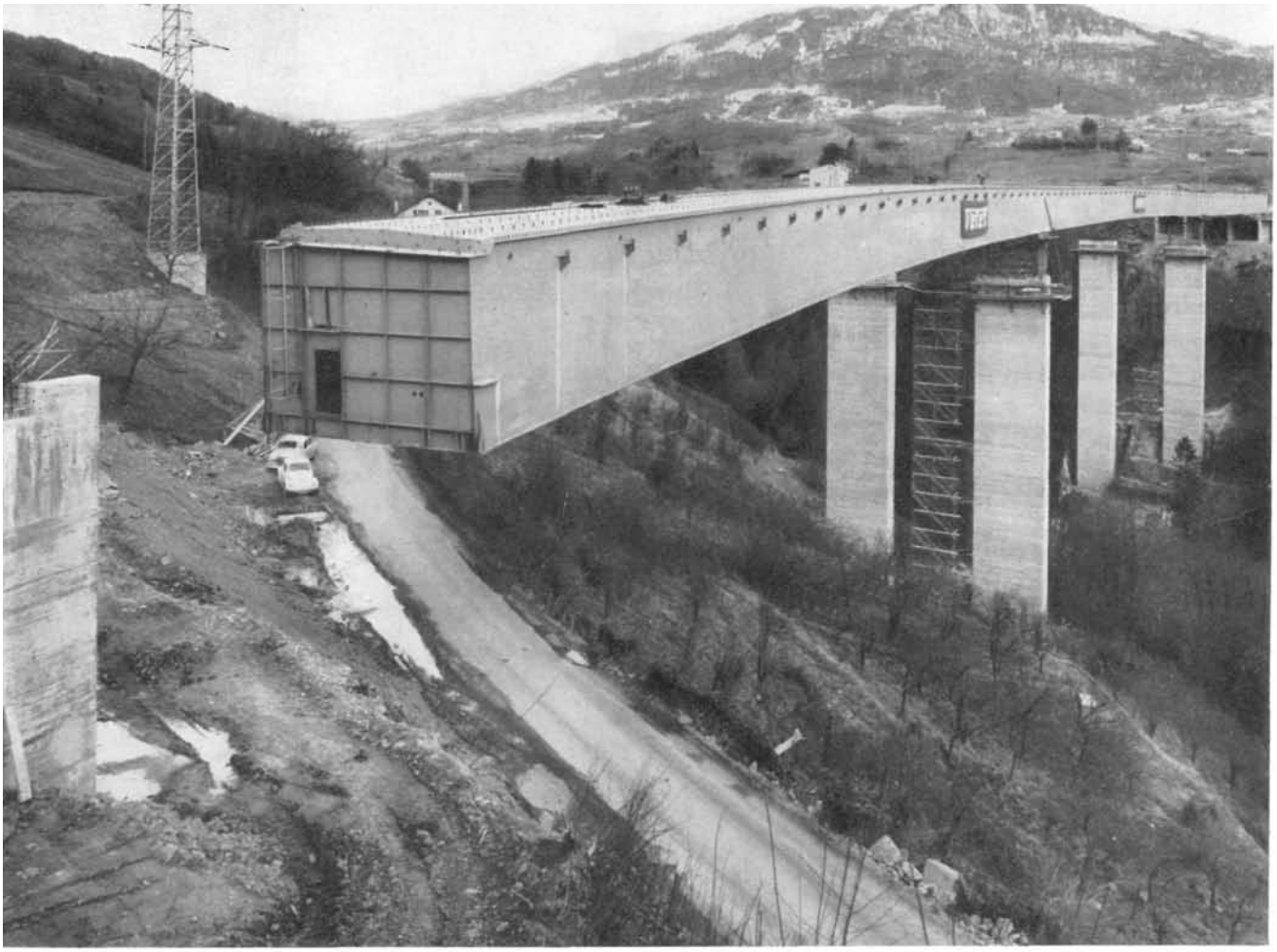
569-13



sinopsis

Se describe en el artículo el proceso completo de proyecto, estudios del terreno y ejecución de este interesante puente, de planta curva, compuesto de dos elementos gemelos y paralelos, construido a base de pilas de hormigón —realizadas con auxilio de encofrados deslizantes— y tablero de hormigón pretensado, soportado por estructura metálica con vigas cajón, colocadas por el sistema de lanzamientos sucesivos.

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

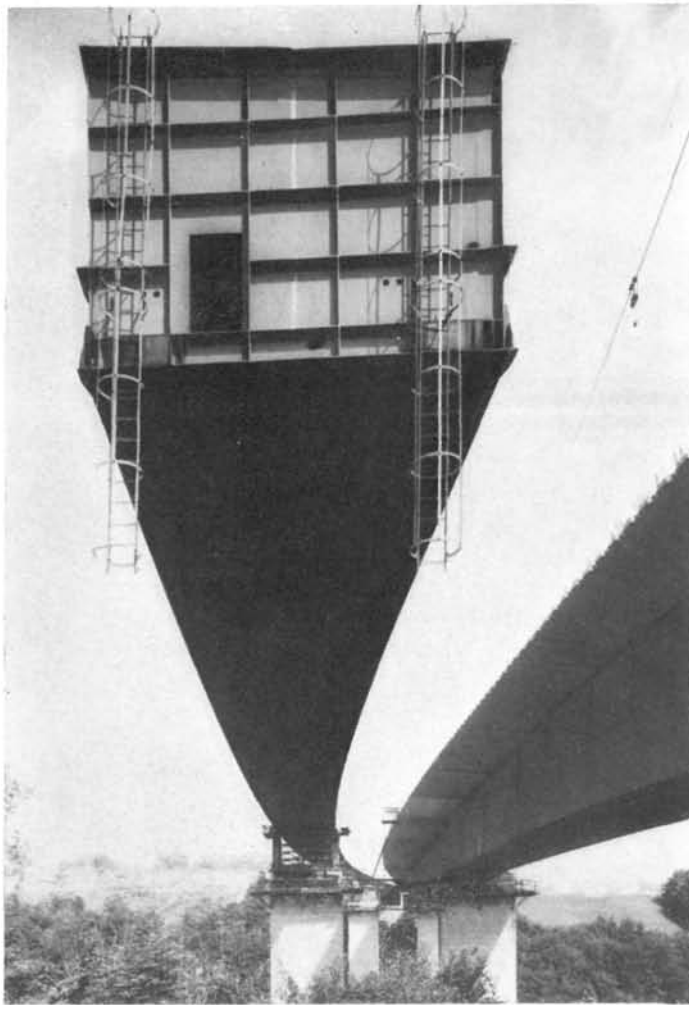


1 Generalidades

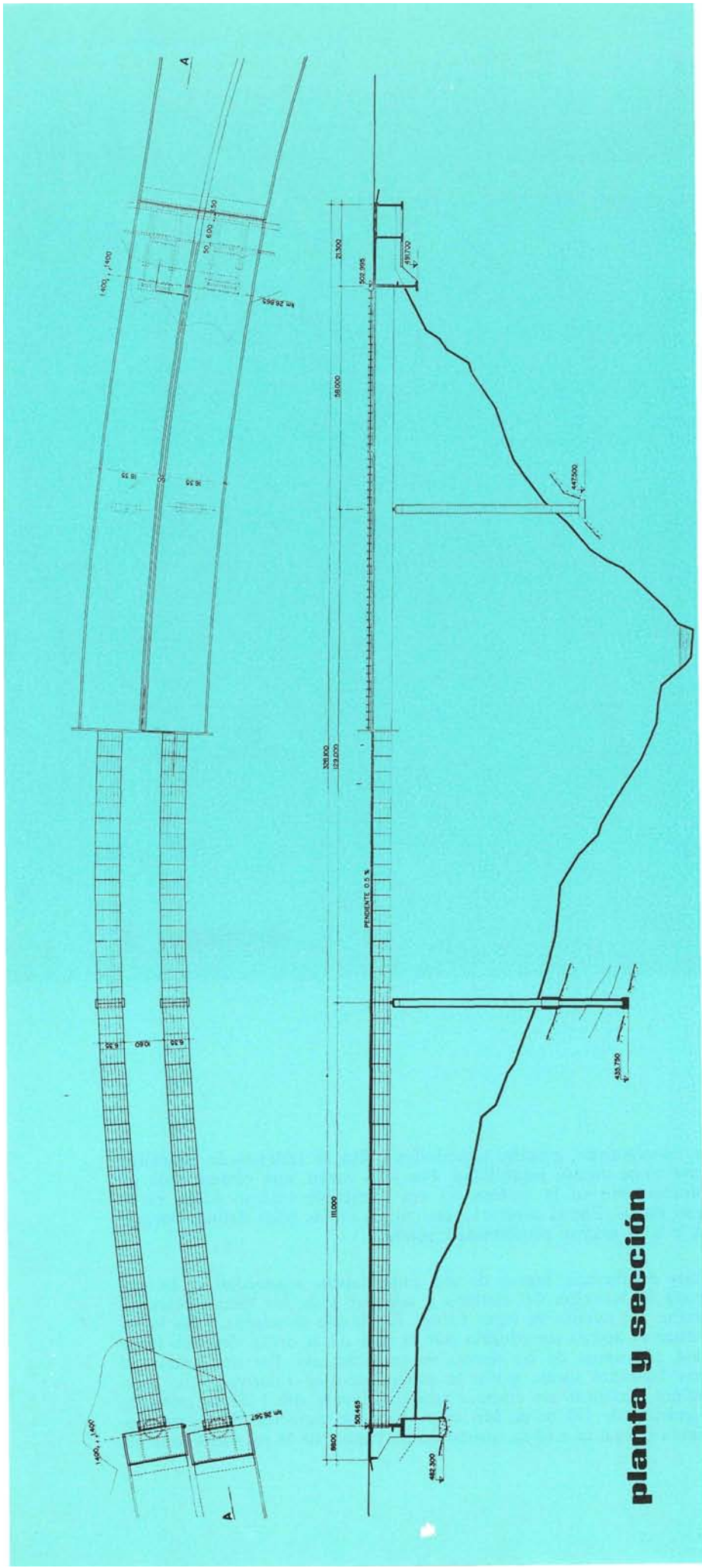
En la región de Vevey, el trazado de la C. N. 9, Lausanne-St. Maurice, atraviesa el valle del Veveyse por un lugar donde el río ha creado una garganta de 300 m de anchura aproximadamente y 80 m de profundidad. Junto a la orilla izquierda se encuentra la variante entre la C. N. 9 y la C. N. 12, Vevey-Fribourg-Berne. Esta obra, al atravesar el valle, permite, en cada sentido, una calzada con dos pistas normales de circulación: una de circulación rápida, otra de circulación normal y una pista de estacionamiento. Las dos calzadas tienen anchura excepcional de cerca de 33,50 m. Cada calzada está soportada por un puente independiente.

El eje de la autopista de la C. N. 9 describe, en la mayor parte de los puentes, un círculo de 900 m de radio; la pendiente longitudinal es del 0,5 %, y el peralte, 4,37 %.

En mayo de 1965 el Departamento de Obras Públicas del cantón de Vaud encargó a cuatro oficinas técnicas el estudio de un puente sobre el Veveyse. Las soluciones presentadas, de las cuales tres eran en hormigón pretensado y una de estructura metálica, fueron examinadas por un



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



grupo de expertos según los cuatro criterios siguientes: construcción, cálculos estáticos, economía y estética.

Después de un examen detallado de los proyectos, el jurado encontró notables ventajas en la solución de estructura metálica en relación con las otras presentadas, recomendando, a la Administración, la ejecución de la solución estudiada por los Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey, S. A.

2 Condiciones geológicas

En la zona de construcción del puente, las condiciones geológicas son muy complicadas. Fueron necesarios numerosos sondeos e investigaciones para determinar la cimentación más adecuada.

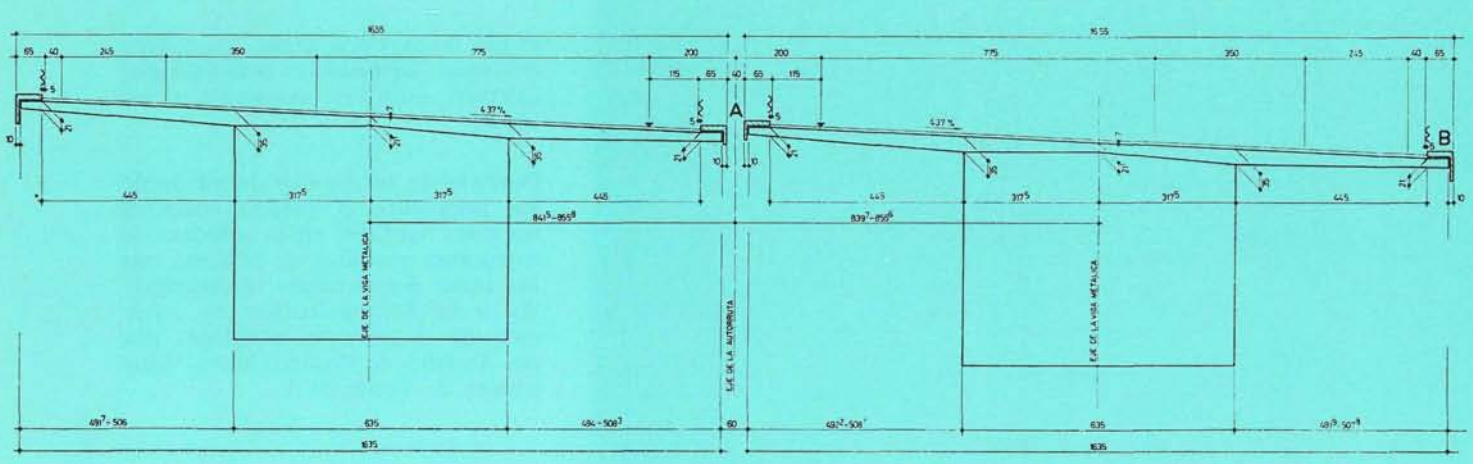
El flanco izquierdo del valle consiste, en su parte superior, en una capa de grava de unos 25 m de espesor, reposando sobre una morrena. Los cimientos del estribo que se apoya sobre esta capa de gravas no presentan dificultades notorias.

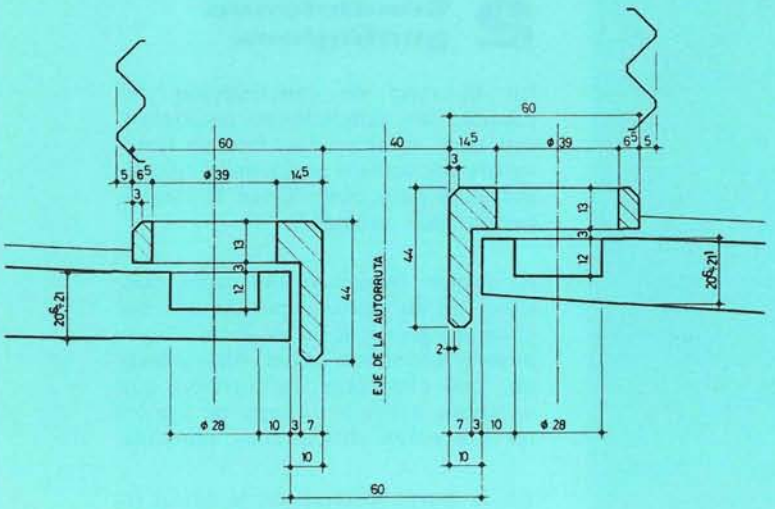
En la parte inferior de la orilla izquierda, con pendiente relativamente fuerte, el Veveyse ha creado un lecho en la molasa rocosa. Esta molasa está bastante disgregada en la superficie y parcialmente fisurada. Sin embargo, se encuentra una roca sana de alrededor de 5 m de profundidad y en capas colocadas favorablemente para permitir una cimentación segura de las pilas.

El flanco derecho del valle está caracterizado, en su parte superior, por una zona extendida de corrimientos. La capa perturbada, de 15 a 20 m de espesor, se compone de margas trituradas impregnadas de agua, de materias arcillosas y de algunos bloques pétreos no muy gruesos. El corrimiento persiste actualmente con una velocidad de algunos centímetros por año. Bajo la capa deslizante, y sobre sus bordes, se encuentra también la molasa rocosa cubierta de 5 m de tierra gredosa. Al contrario de la orilla izquierda, la roca de la orilla derecha ha sido fuertemente perturbada

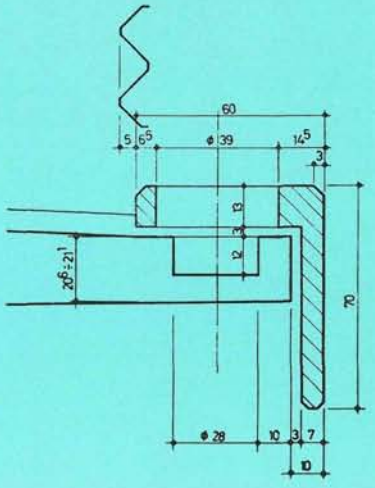
© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

sección transversal





detalle A



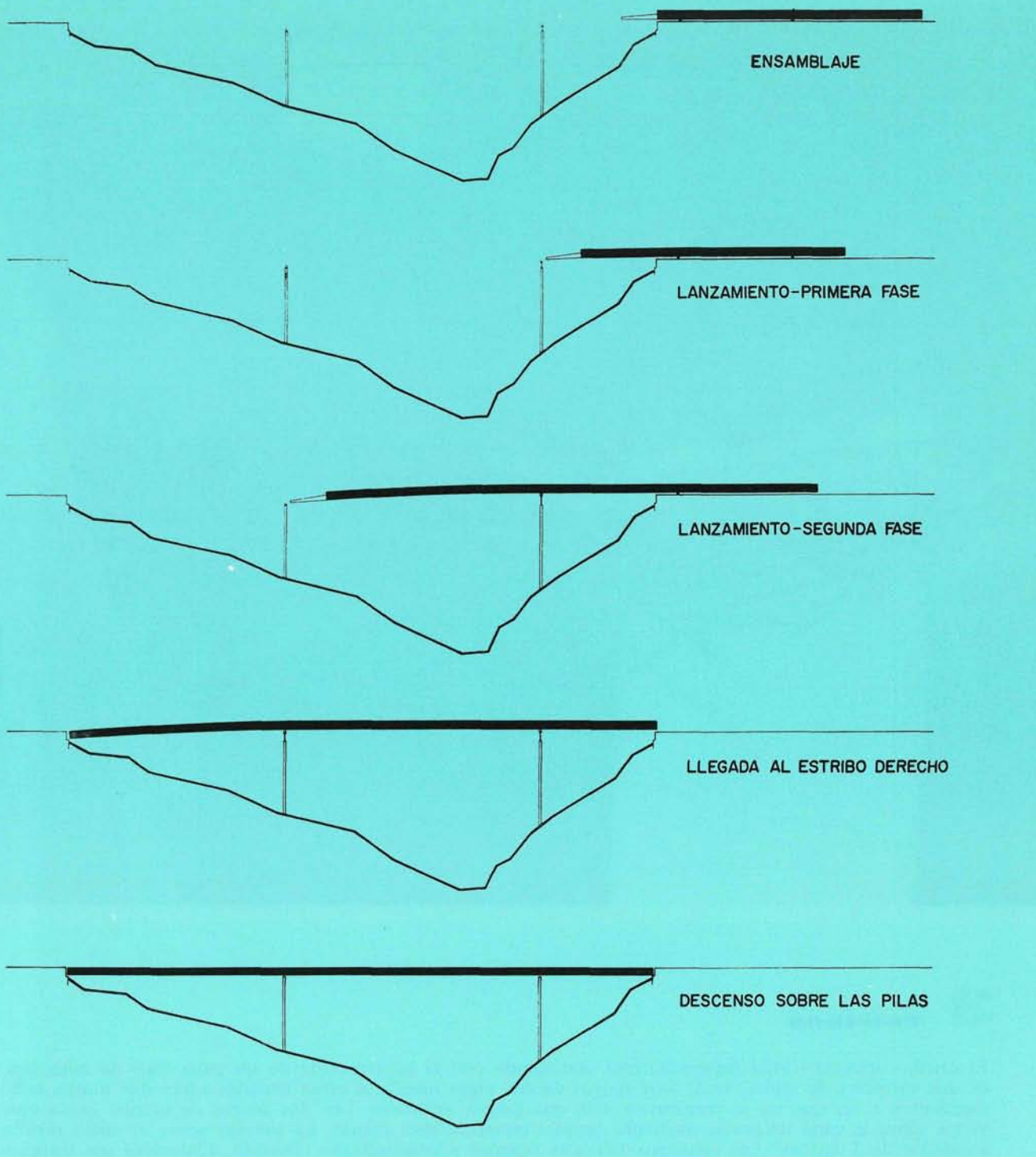
detalle B

por influencias tectónicas y contiene, por consiguiente, grandes oquedades y fisuras rellenas de depósitos margosos muy húmedos. Toda la vertiente tiene escasa estabilidad. Por esta razón, una cimentación de las pilas a pequeña profundidad de empotramiento en la molasa no era admisible incluso fuera de la misma zona de deslizamiento propiamente dicha. Por el contrario, las cargas de las pilas debían llevarse a las capas no perturbadas de la molasa y a la mayor profundidad posible.

Estas condiciones geológicas, en parte muy escabrosas, fueron de una importancia primordial en la concepción de la obra y, principalmente, para la elección del sistema a adoptar y de las luces correctas. En el caso presente, sólo podía considerarse un puente de vigas rectas. En lo que concierne a las luces, resultaba absolutamente imprescindible situar el apoyo constituido por la pila de la orilla derecha fuera de la zona de deslizamiento para evitar, así, el empuje de las tierras sobre dicha pila. Por otra parte, el estribo de la orilla derecha debía colocarse bastante atrás, sobre la parte superior relativamente llana de la zona deslizante, de manera que pudiera aguantar un empuje suficientemente débil de la masa de tierras. Así, pues, hay un tramo bastante grande, de 111 m de luz, sobre la orilla derecha. El tramo central, de 129 m, permite franquear la profunda garganta a 80 m, quedando un tramo, de 58 m, sobre la orilla izquierda.

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

lanzamiento



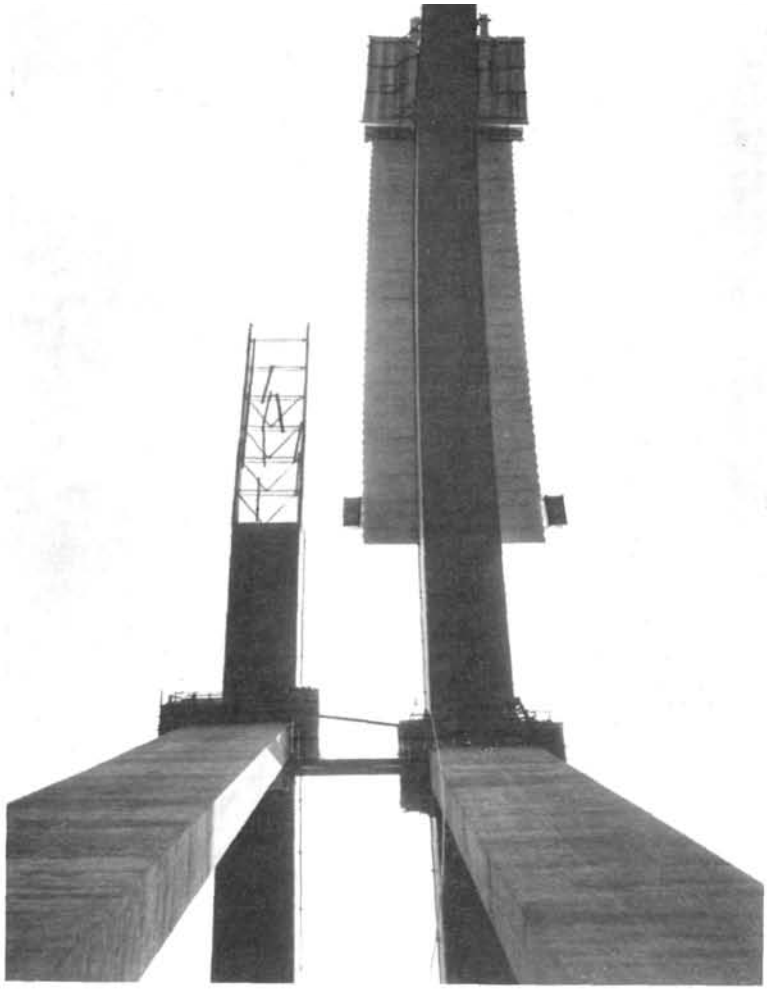
© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

3 Estribos

El estribo oriental (orilla izquierda) está combinado con la construcción de un paso, bajo la autopista, de una carretera de interés local. Los apoyos de dos vigas metálicas están situados sobre dos muros independientes a los que no se transmiten más que cargas verticales. Los dos muros de estribo están apoyados sobre la capa de grava, mediante simples cimentaciones planas. La presión sobre el suelo resulta alrededor de 3 kp/cm². Los esfuerzos laterales (viento) y longitudinales (frenado, dilatación) son transmitidos a los muros longitudinales del paso inferior, a través del estribo, por el tablero o calzada, que no presenta punto de unión aquí, y son absorbidos sin dificultad por las zapatas de los cimientos colocadas en la capa de grava.

El estribo occidental (orilla derecha) se encuentra todavía en la zona de deslizamiento del terreno, a pesar de la gran luz del puente sobre esta orilla. Por esto se hacen indispensables unos cimientos de 12 m de profundidad, hasta la roca. El calado de la capa de cobertura, que consiste esencialmente en terreno gredoso, se efectúa por pozos verticales de 5 m de diámetro. Para recobrar la presión de las tierras en deslizamiento, los cimientos en el fondo de los pozos están anclados en la molasa por medio de cables tensados. La parte superior del estribo comprende un voladizo de 8 m que prolonga el puente hacia atrás. Este sistema de construcción proporciona la economía de una excavación importante. El empuje de tierras detrás del estribo se ve así sensiblemente aminorado, y la estabilidad del terreno queda favorablemente influenciada por este aligeramiento.

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

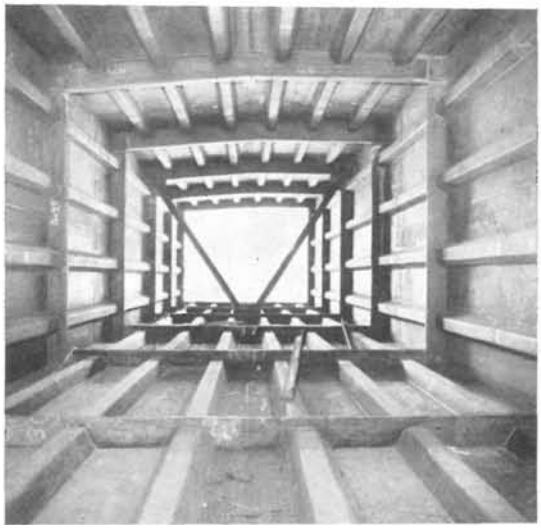


4 Pilas

Los fustes de las cuatro pilas (dos por cada puente) tienen sección rectangular, hueca, de 7,50 × 2,20 m, con espesor de paredes de 25 cm. La sección es prismática en toda la altura de los fustes y se presta particularmente bien a la utilización de encofrados deslizantes.

La cimentación de las pilas gemelas se efectúa, sobre la orilla izquierda, por medio de dos losas planas apoyadas en la molasa sana. La excavación se puede hacer sin apuntalamiento. La presión máxima sobre el suelo alcanza aquí los 15 kp/cm². En el curso de la construcción, es decir, cuando el viento sopla contra las pilas libres, o bajo el esfuerzo horizontal debido al lanza-

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



miento de las vigas metálicas, es necesario anclar las losas de cimentación en la roca con la ayuda de cables debidamente tesados.

Sobre la orilla derecha, los cimientos de las pilas exigen trabajos regularmente importantes. Por razón de las condiciones geológicas particulares, las cargas deben conducirse hacia la molasa no diaclasada, es decir, a una gran profundidad (unos 25 m debajo del terreno natural). Además, es importante que el procedimiento de ejecución de la cimentación no altere el equilibrio precario de la vertiente, sino que, al contrario, permita una estabilización por drenaje profundo, anclajes, etc. Dado que la capa rocosa no puede ser perforada de un golpe, por un pozo vertical, la ejecución de los trabajos está prevista como sigue: los fustes de las pilas se prolongan hasta el suelo, donde son recibidos en tramos sucesivos de alturas comprendidas entre 1,50 a 2 m. En la parte superior, hasta aproximadamente 5 m de profundidad, había prevista una capa exterior, al abrigo de la cual el fuste pudo ser cuidadosamente armado, sin juntas de armaduras verticales, y hormigonado en una sola etapa. Debajo, los momentos de empotramiento longitudinales y transversales quedan considerablemente reducidos y los hierros verticales sirven sobre todo de armadura de reparto a los hierros de la zona media, siendo innecesaria la colocación de una capa exterior. La ejecución por encofrados deslizantes comenzó en la parte superior y, en la zona de los pozos, se utilizó un sistema análogo, permitiendo igualmente un encofrado racional. Durante la ejecución, el procedimiento descrito evitó completamente todo deslizamiento de materiales terrosos.

Los pozos de cimentación quedaban vacíos y eran accesibles después de la ejecución de los trabajos. Los cimientos tenían el drenaje adecuado y el agua colectada va desaguada directamente sobre el río Veveyse. Además, para mejorar la estabilidad de la pendiente, se perforaron huecos de drenaje en la molasa diaclasada en toda al altura de los pozos. En casos necesarios, las rocas se estabilizaban por medio de cables puestos en tensión desde los pozos.

5 Estructura metálica

a) Proyecto

Las consideraciones, sobre todo económicas, condujeron a la adopción de una solución de dos puentes paralelos. Cada una de las calzadas de la autopista era soportada por una viga metálica en cajón, completamente cerrada, continua en tres vanos de 111 m + 129 m + 58 m. La altura de la viga es constante y mide 5 m; la anchura de las zapatas está fijada en 6,35 m. La viga se halla unida rígidamente, con ayuda de pasadores de cizallamiento que transmiten los esfuerzos rasantes, a la losa de la calzada de hormigón. Se tiene, pues, una obra que trabaja en viga mixta acero-hormigón para todos los estados de carga, interviniendo después el hormigonado de la losa.

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

b) Geometría del sistema portante

Los dos cajones son absolutamente idénticos, con una línea media circular cuyo radio es de 907 m. Esta solución, que presenta ventajas económicas evidentes, se ha realizado por simple traslación de los estribos y de las pilas. Como el eje del cajón metálico difiere del de la calzada, los voladizos de la losa son ligeramente variables. La diferencia entre los ejes no sobrepasa, por otra parte, los 82 mm.

c) Vigas maestras

Como se ha dicho antes, cada viga bajo la calzada consiste en un cajón formado por dos almas de 12 mm de espesor, que aumenta hasta 20 mm sobre la pila de la orilla derecha, separadas alrededor de 6,15 m, y de dos piezas horizontales, cuyo espesor se adapta a las solicitaciones, y varía entre 10 y 45 mm. Esta disposición presenta las siguientes ventajas:

El tablero tiene una gran rigidez a torsión, lo cual resulta particularmente interesante dado que la obra está en curva y que, además, la gran anchura de la calzada conduce a momentos de torsión no despreciables para las sobrecargas asimétricas.

Los espesores de las chapas son moderados, lo que es muy favorable desde todos los conceptos. Para una disposición de dos o incluso tres vigas independientes, se obtendrían espesores muy importantes, cuya soldadura podría presentar graves inconvenientes.

Las chapas hacen igualmente el papel de arriostramientos horizontales.

La chapa superior sirve de encofrado para la losa de la calzada de hormigón. A este respecto, se previó un cajón cuya media sección superior tuviera forma de rectángulo y la otra media de abajo en forma de trapecio. El cordón inferior y la mitad superior del cordón superior son horizontales, las almas son verticales y la mitad inferior del cordón superior tiene una pendiente transversal que es el doble del peralte de la calzada.

La forma particular del cordón superior ha permitido igualmente una economía no despreciable en el peso de la losa; el espesor máximo de ésta, que es 35 cm en la arista del cajón, se ha reducido a 21 cm en el eje de la viga.

Alrededor de los 2/3 de las superficies a proteger de la estructura metálica están situados en el interior de un cajón cerrado y, como consecuencia, los gastos de mantenimiento correspondientes resultan mínimos.

Por estas razones se decidió conservar la sección en cajón a lo largo de todo el tablero, aunque, para el pequeño tramo de la orilla izquierda, una sección formada por dos vigas independientes hubiera sido igualmente realizable.

Las chapas de las almas y de las partes horizontales están tensadas por nervios longitudinales en cajón, de una gran rigidez a la flexión y a la torsión. La tensión se completa mediante tensores verticales para las almas, y transversales para las chapas de contextura.

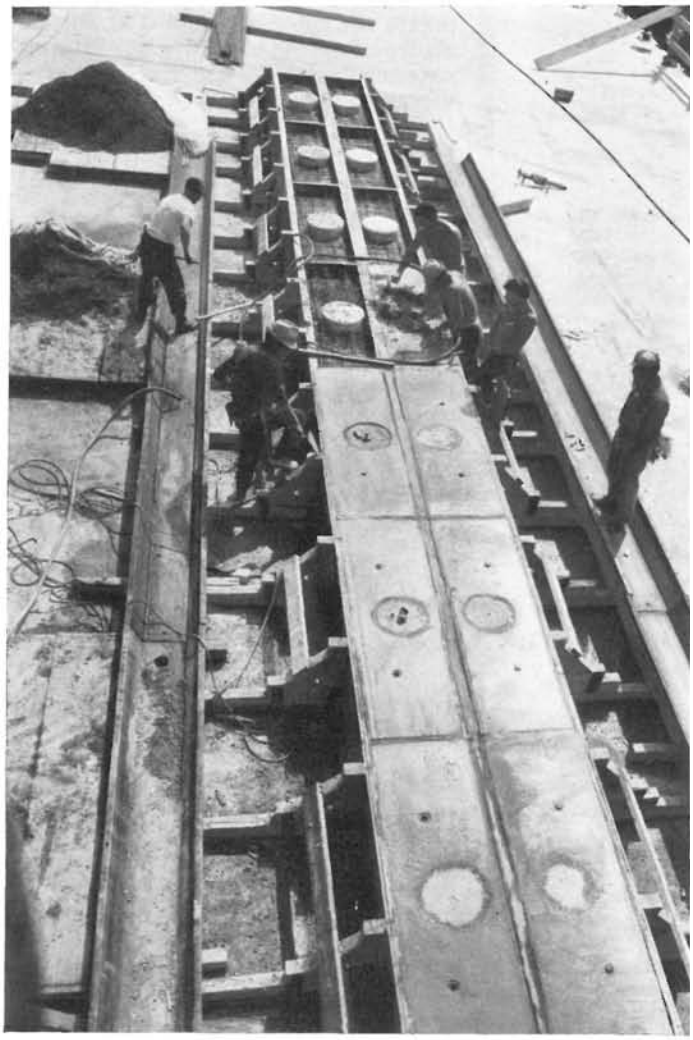
d) Traviesas

Las traviesas inferiores en enrejado, espaciadas alrededor de 16 m, aseguran la indeformabilidad de la sección y transmiten los esfuerzos de torsión debidos a las cargas asimétricas y a la curvatura.

A la derecha de las pilas y sobre la orilla derecha, las traviesas son de alma llena, a fin de transmitir correctamente a los apoyos las reacciones transversales de la losa debidas tanto a los momentos de torsión como a los esfuerzos cortantes que origina el viento lateral. El acceso a través de estas paredes se logró por medio de agujeros-hombre.

Sobre el estribo de la orilla izquierda el sistema de arriostramiento está constituido por un fuerte tabique, de hormigón, convenientemente unido a la estructura metálica, que hace el papel de contrapeso. En efecto, como el tramo de la orilla izquierda tiene una luz relativamente pequeña, las reacciones de apoyo mínimas sobre estribos, aunque siempre positivas, son bastante débiles y se consideró necesario asegurar que nunca fueran negativas, incluso con el aumento de las sobrecargas.

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



e) Apoyos

La obra lleva apoyos fijos sobre las pilas que, a consecuencia de su empuje, son bastante flexibles en la dirección del eje del puente.

Se han dispuesto apoyos móviles de rodillo de acero blindado sobre los dos estribos. Sobre la orilla izquierda se ha fijado al estribo de forma que los desplazamientos de los rodillos sean pequeños.

f) Aceros utilizados

Laminaciones USINOR, de Dunkerque, abastecieron la mayor parte de los aceros. Las calidades elegidas son las siguientes:

En la zona de la pila de la orilla derecha:

Acero USITEN 58/40 calmado en grano fino y normalizado, con límite elástico garantizado de, al menos, 40 kp/mm².

En la zona del estribo de la orilla izquierda y para ciertos elementos secundarios:

Acero RR St 37-3 (según norma DIN 17 100), con garantías de resistencia al choque mejorada.

Para mayor parte de las vigas:

Acero USITEN 52/36 calmado en grano fino y normalizado, con límite elástico garantizado de, al menos, 36 kp/mm².

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

El total del acero puesto en obra para las dos vigas metálicas es, aproximadamente, 2.200 t.

Las tensiones admisibles son:

para el caso de carga P (cargas principales):

- tensión de comparación en las zapatas:

$$\sigma_g \text{ zapatas} \leqslant 2/3\ \sigma \text{ elástica};$$

- tensión de comparación en las almas:

$$\sigma_g \text{ alma} \leqslant 3/4\ \sigma \text{ elástica};$$

para el caso de carga T y durante el montaje:

$$\sigma_g \text{ zapatas} \leqslant 3/4\ \sigma \text{ elástica},$$

$$\sigma_g \text{ alma} \leqslant 4/5\ \sigma \text{ elástica}.$$

Se realizó un control de solicitaciones a la fatiga para una sobrecarga del 80 %, con tensiones admisibles reducidas; pero este caso nunca es determinante.

g) Cálculos

Se examinan cuidadosamente las solicitaciones siguientes:

Montaje por lanzamiento.

Solicitaciones de vigas metálicas, antes de su unión a la losa, bajo el efecto del peso propio y del de la losa de la calzada (término medio, 14,8 Mp/m por puente).

Cargas de larga duración, con fluencia, actuando sobre la obra mixta acero-hormigón, es decir, las cargas permanentes después del hormigonado (revestimiento bituminoso, bordes prefabricados, correderas, etc., siendo 3,07 Mp/m por puente).

Sobrecargas móviles de 6,05 Mp/m por puente, y además una carga concentrada de 32,6 Mp en cada posición desfavorable.

Influencias: concentración del hormigón, diferencia de temperatura entre la estructura metálica y la losa de calzada, viento, frenado, etc.

Influencias: de la curvatura en planta del sistema portante, y cargas asimétricas (sobrecargas, viento).

La colaboración de la losa de la calzada con las vigas metálicas quedó admitida como total, a lo largo del puente, en los cálculos hiperestáticos en que se tuvo en cuenta la rigidez de las secciones; mientras que en los cálculos de control de tensiones, la colaboración de la losa no se consideró más que en las zonas donde el hormigón estaba comprimido. Para las zonas de momentos negativos, las secciones participan en la resistencia comprendiendo únicamente la viga metálica y la armadura longitudinal de la losa, convenientemente reforzada.

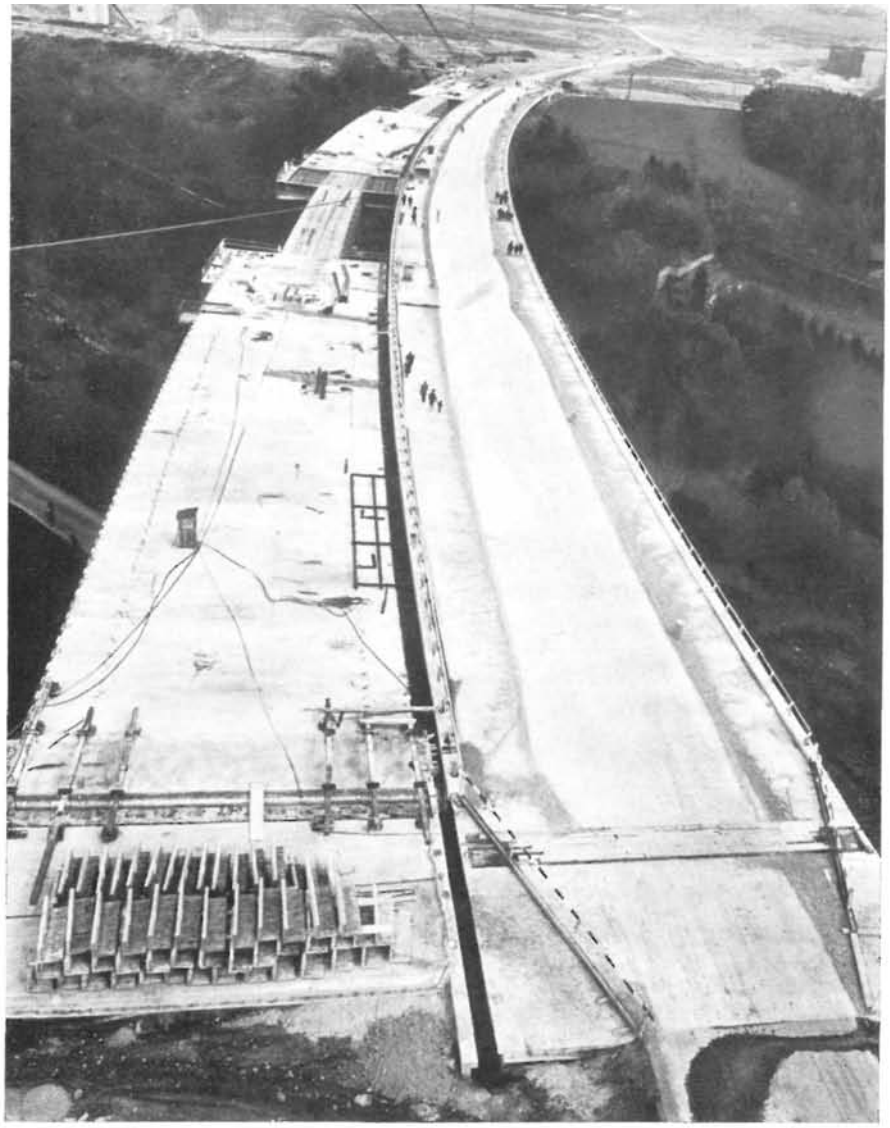
Los cálculos estáticos en las fases de lanzamiento y estados definitivos, bajo las cargas principales, fueron efectuados con auxilio de ordenadores electrónicos y con el nuevo lenguaje STRESS.

6 Montaje de la estructura metálica

La fabricación en taller se hizo por semi-cajones, es decir, por elementos de 5 m de alto, unos 3,20 m de ancho, entre 25 y 40 t de peso, y cuya longitud varía entre 10 y 21 m. Su transporte se llevó a cabo en posición de pie, y no planteó dificultades especiales.

Los trozos se unieron por soldadura sobre la plataforma misma de la autopista en su orilla izquierda. Después de su limpieza con arena y de pintarlo, el cajón fue lanzado según su eje definitivo. Para asegurar un buen reparto de las reacciones de los rodillos de lanzamiento, a pesar del espesor relativamente pequeño de las chapas inferiores, se previeron raíles F 100.60 soldados a la contextura y formando parte de la sección.

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



El montaje por lanzamiento presentó, entre otras, las dos ventajas siguientes:

— supresión de todos los andamios, en particular en la zona de deslizamiento de la vertiente derecha del valle;

— instalaciones situadas sobre la misma orilla, en la planicie de la variante entre la C. N. 9 y C. N. 12. Todo esto dejaba a la otra orilla, más libre de instalaciones.

Una vez terminado el lanzamiento, se descendió inmediatamente la viga sobre sus apoyos definitivos.

7 Losa de la calzada

La losa de hormigón está unida monolíticamente a las vigas metálicas. Los voladizos laterales son cada uno de 5 m. En las zonas de anclaje, la losa tiene 35 cm de espesor. Disminuye a 20 cm hacia las extremidades del voladizo y a 21 cm en medio de los cajones metálicos.

La losa del tablero está en parte pretensada transversalmente. Este pretensado es total para las solicitaciones debidas al peso propio y a los 3/4 de las sobrecargas. Se garantiza así una seguridad prácticamente absoluta en lo que atañe a la fisuración y se reducen notablemente las flechas debidas a las cargas permanentes, principalmente las originadas por la fluencia.

Longitudinalmente, el tablero no está más que ligeramente armado. La armadura está dimensionada para la repartición de cargas concentradas, para los esfuerzos del viento, y para las solicitaciones de momentos negativos en las zonas de las pilas, originados por las cargas móviles. La combinación más desfavorable de estos casos de carga hace trabajar a las armaduras longitudinalmente a 2.400 kp/cm² como máximo.

Sólo los voladizos fueron encofrados, ya que las vigas metálicas formaban el encofrado de la parte central.

La solución más económica consistió en ejecutar la obra de la losa con hormigón vertido in situ. La puesta en obra se hizo por trozos de 12 m de longitud.

El encofrado de los voladizos consistió en un andamiaje móvil enganchado a la viga metálica. Se hormigonaron siempre dos tramos del puente al mismo tiempo, a fin de evitar las sobresolicitaciones en las vigas metálicas, de una parte, y los esfuerzos longitudinales del hormigón, de otra. El primer pretensado realizado por la puesta en tensión de la mitad de los cables se llevó a cabo a los 4 días y medio. El resto de los cables se tensaron 30 días más tarde, después de la ejecución de toda la losa. El pretensado total fue de 140 Mp/m. La puesta en obra del tablero de un puente requirió unas 15 semanas. Durante este tiempo se lanzó la viga metálica del segundo puente. La empresa constructora pudo así proceder a la construcción de toda la superestructura en una sola etapa de trabajo ininterrumpido.

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

Pont sur la Veveyse de la route nationale suisse N.° 9

Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey, S. A.

Cet article décrit le processus du projet, les études du terrain et l'exécution de cet intéressant ouvrage, en plan courbe, consistant en deux ponts parallèles, construits à base de piles en béton jumellées —réalisées à l'aide de coffrages glissants— et d'un tablier en béton précontraint, supporté par une ossature métallique de poutres caisson, mises en place grâce au système de montage par lancements successifs.

Bridge over the Veveyse River, on the N-9 Highway, Switzerland

Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey, S. A.

This article describes the full development of the project, the site research and the actual construction of this interesting bridge. The bridge has a curved planform, and consists of two parallel structures, supported on concrete piles. These were built with sliding formwork. The deck is prestressed concrete and supporting metal box girders, which were assembled by successive overhangs.

Brücke über den Genfer See, an der Strasse N-9 Schweiz

Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey, S. A.

Der vorliegende Artikel gibt eine Beschreibung über den gesamten Ablauf der Planung, Baugrunduntersuchung und Durchführung dieser interessanten Brücke mit gekrümmtem Boden, die sich zusammensetzt aus zwei gleichen und parallel verlaufenden Elementen; sie wurde errichtet auf der Grundlage von Betonpfeilern —hergestellt mit Kletterschalung— und einer Platte aus Spannbeton, die sich auf Metallstrukturen mit Trogträgern, die im Nachschubverfahren angebracht wurden.

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