

para el oleoducto **nuevo puente** **de Europa Central**

GIANCARLO GIULIANI, Dr. ingeniero

535-8

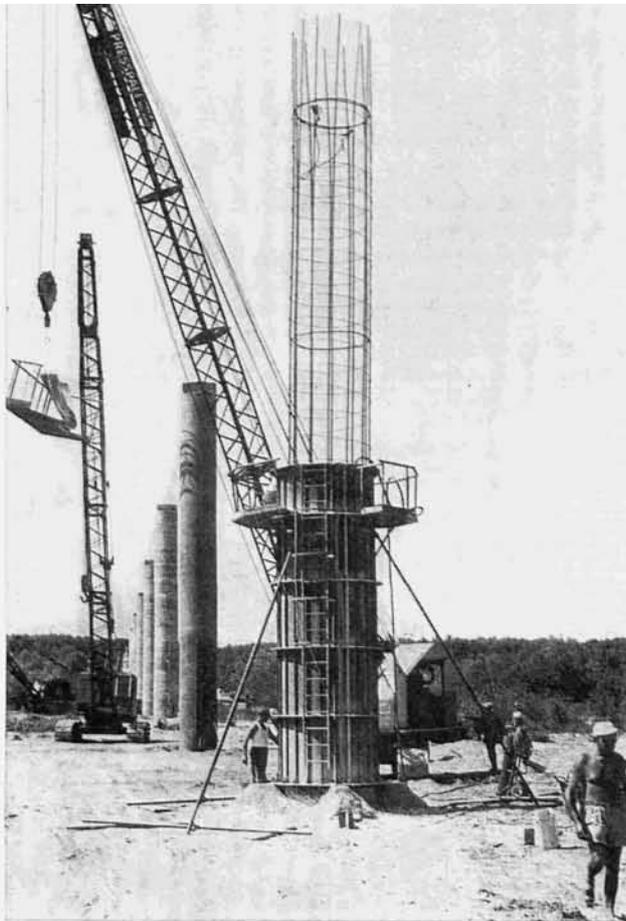
sinopsis Este puente, construido sobre el río Po, cerca de Pavía, tiene una longitud total de 1.370 m, dividida en tramos de 36 m de longitud, salvados por cuatro vigas continuas, de 6 vanos, y dos vigas continuas, de 7 vanos. Las pilas, de 14 m de altura y 1,50 m de diámetro, se han construido sobre la prolongación de los pilotes de cimentados.

El artículo explica las particularidades de la obra y el procedimiento de lanzamiento adoptado.

Generalidades

Este puente, que atraviesa el Po, ha sido realizado por la SNAM de Messova (Pavía).

Tiene una longitud total de 1.370 m, aproximadamente, y cerca de 14 m de altura máxima. Ha de soportar dos conductos de 660 mm de diámetro y 700 kg/m. l. cada uno, a plena carga, además de líneas telefónicas, protecciones catódicas y acceso cómodo a las cuadrillas de inspección y entretenimiento.



Encofrado metálico y armadura de una pila.

Armadura de una viga de 36 m con travesaño prefabricado de apoyo de conductos.



La solución adoptada fue elegida —mediante concurso— por sus evidentes ventajas de tipo técnico y económico. Está constituido por vigas de hormigón pretensado, sobre apoyos transversales, unidas inferiormente con vigas metálicas destinadas a sostener los dos conductos y superiormente mediante piezas prefabricadas móviles para inspección.

Gracias a la originalidad del proyecto se logra evitar la contaminación de las aguas en caso de fugas de petróleo, dado que la sección transversal en omega crea un canal que permite, gracias a las dos pendientes longitudinales, recoger las pérdidas, en su extremidad, con auxilio de autobombas. El sistema de lanzamiento de vigas, desde las pilas, hace posible la continuidad de las obras, incluso en régimen de alto nivel de agua en el río.

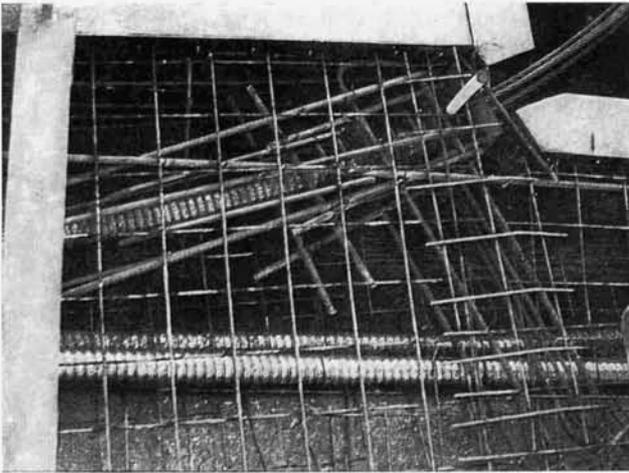
La longitud total del puente se ha dividido en tramos de 36 m, salvados con cuatro vigas continuas, de 6 vanos, y con dos vigas continuas, de 7 vanos. Las pilas, a su vez, se han construido prolongando los pilotes de gran diámetro que constituyen la cimentación.

Procedimiento constructivo

Los pilotes, de 1,50 m de diámetro, han sido anclados sobre potentes bancos de arena y arcilla, a la profundidad de 25 m, por debajo del fondo actual del río.

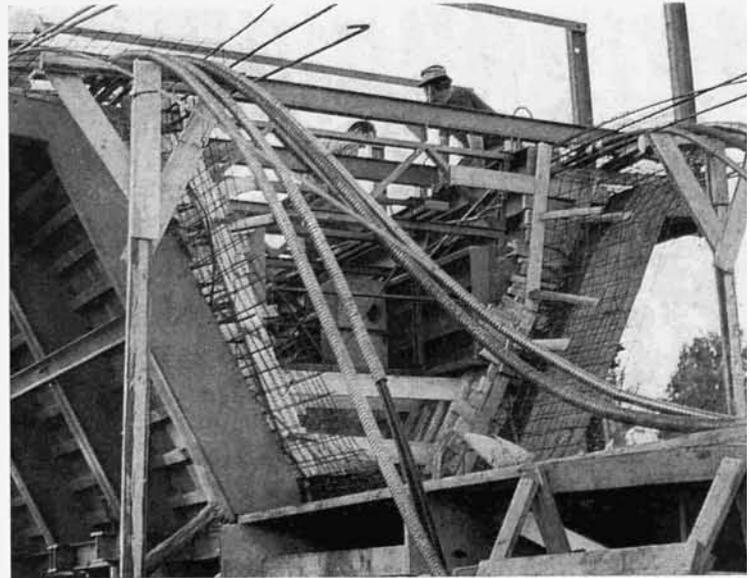
Se aprovechó la corta época estival para construir empalizadas en el lecho del río, trabajando en régimen de dos turnos.

El hecho de que los pilotes fueran después, en su prolongación, las propias pilas del puente, obligó a una gran exactitud de replanteo y de ejecución, comprobándose, a posteriori, un error máximo de 2 cm. Los pilotes se excavaron empleando «camisas» de acero, clavadas hidráulicamente, dentro de las cuales se efectuaba la excavación, teniendo buen cuidado de no alterar fundamentalmente el terreno circundante;



Detalle de anclaje del pretensado posterior del encofrado.

Anclaje fijo del pretensado de gunitado.

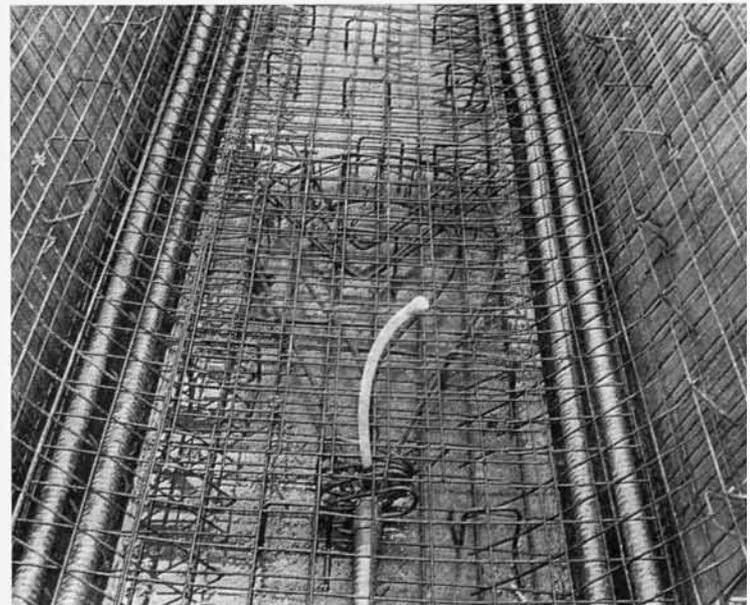


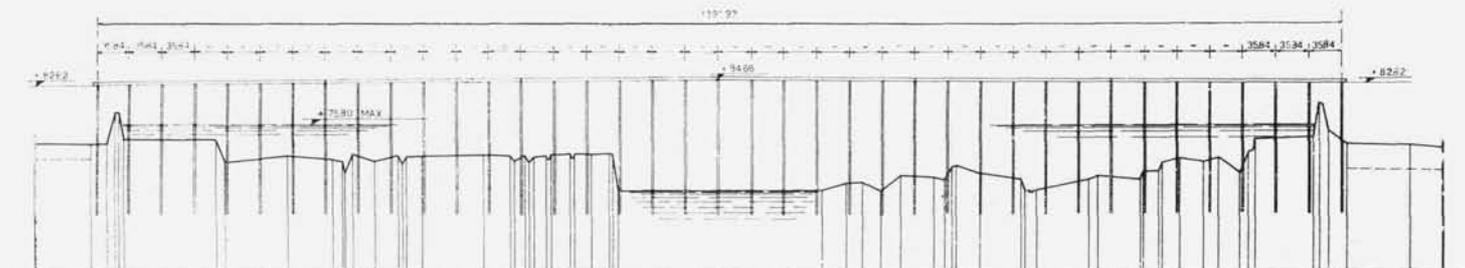
con el fin de evitar flujos molestos del fondo era necesario mantener constante el nivel estático del agua subálvea, lo cual se lograba con la ayuda de bombas. Después se introducían las armaduras por elementos completos de 12 m y se soldaban posteriormente; a continuación se recuperaban gradualmente las camisas, teniendo especial cuidado en evitar el lavado del hormigón, vertido desde gran altura, lo cual se lograba utilizando camisas perdidas de 6 mm de espesor.

La construcción de las pilas se llevó a cabo mediante encofrados metálicos, perfilando sus extremidades de modo que permitieran la colocación de placas de apoyo y deslizamiento de las vigas de hormigón pretensado.

Al mismo tiempo que se construían las pilas, en las dos extremidades del puente se prepararon dos encofrados metálicos —de 38 m de longitud— que delimitaban el perfil exterior de las vigas, en cuyo interior se colocaba la armadura del primer tramo —de 36 m—, constituida por una malla electrosoldada, cables de pretensado en vaina metálica y travesaños prefabricados de hormigón —dispuestos cada 9 m—, destinados a soportar los conductos.

Los cables de pretensado sobresalen de la extremidad posterior de la viga, con el fin de poder unirlos a la viga sucesiva; la parte inferior —en contacto con el encofrado— va provista de dos perfiles especiales de chapa que facilitan el deslizamiento. Después se procedía al vertido de hormigón tradicional para fondo y alas de la viga, gunitando las paredes laterales; con esta argucia se aseguró una excelente calidad de las paredes inclinadas, sin necesidad





sección longitudinal

de recurrir a encofrado interior que, a causa del escaso espesor del vertido y del impedimento de la armadura, hubiera originado arduos problemas de rellenado que solamente se habrían podido resolver con la vibración total del encofrado, operación que aquí no era compatible con el sistema de construcción adoptado.

Mediante la adecuada selección granulométrica y con el vertido y gunitado antes indicado, se consiguieron —después de un curado a vapor de 18 horas— resistencias de 280 kp/cm².

Se procedió seguidamente al desencofrado de las vigas, cuyos perfiles inferiores de chapa se apoyan sobre una serie de resaltes con láminas de teflon —en su parte superior— dispuestos sobre la alineación plani-altimétrica de las pilas.

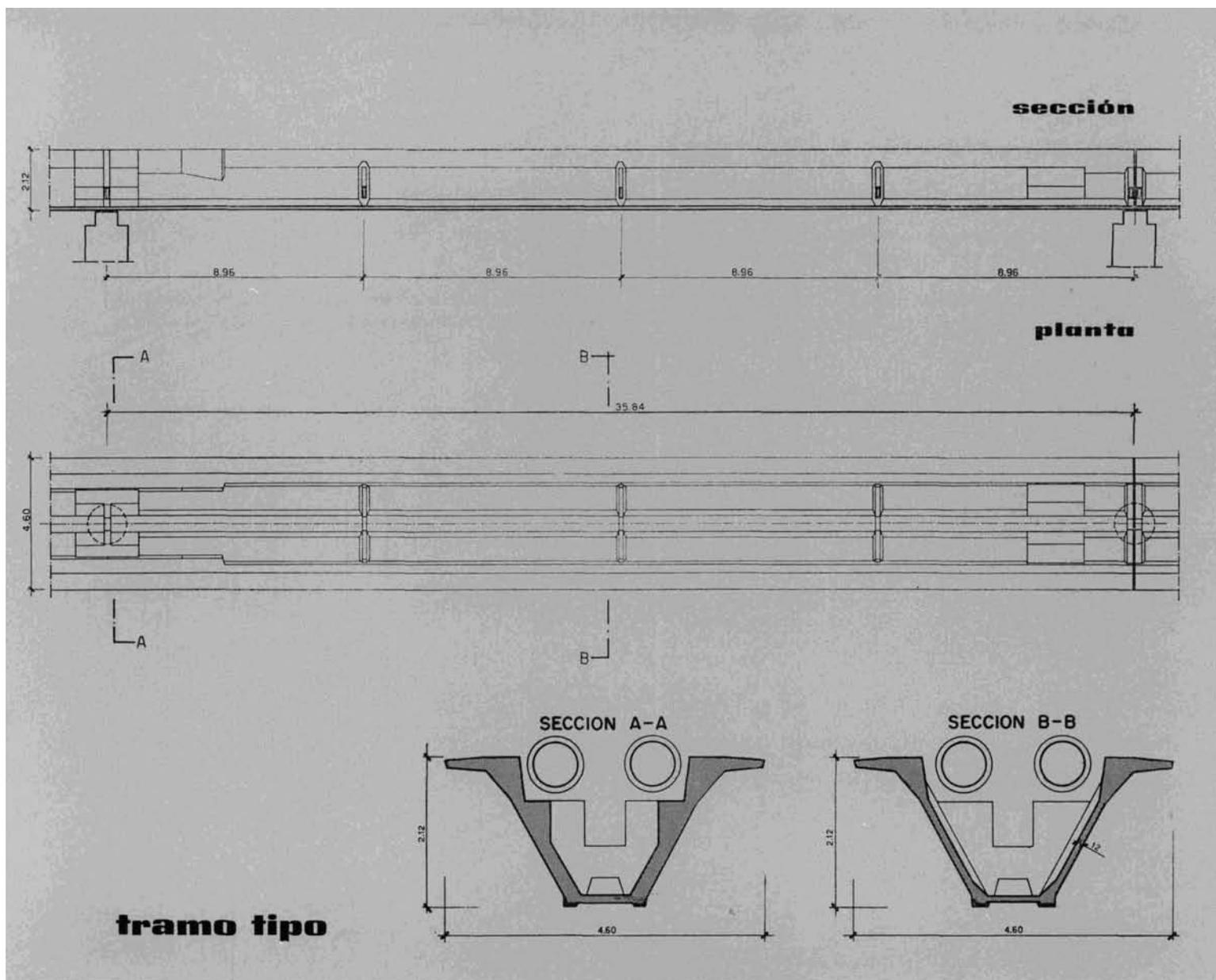
Luego se realizó el pretensado baricéntrico auxiliar, obtenido tesando seis grupos de cables de 12 alambres \varnothing 1/2 pulgada —dispuestos en el espacio interior— entre las paredes de la viga y anclados a los travesaños metálicos.

Previamente se prepara el cable metálico —de 22 m— anclado a la estructura de hormigón, disponiendo sobre la pila inmediata el sistema de deslizamiento con sus patines y rodamientos correspondientes.

Entonces comienza la operación de extracción de la viga del banco de construcción, la cual salta unos 14 m, después que la prolongación anterior se ha apoyado sobre el rodamiento proporcionando un soporte gradual.

fase de lanzamiento





tramo tipo

La operación finaliza con el apoyo de la extremidad de la viga sobre los patines de la pila. El deslizamiento se consigue con auxilio de gatos hidráulicos en contacto con los anclajes del pretensado auxiliar, impidiéndose la retracción gracias a una serie de cables sujetos en la orilla opuesta del río.

En el encofrado que queda libre de la primera viga, se procede a armar y hormigonar la segunda que, en el paso siguiente, queda solidarizada a la primera mediante el pretensado auxiliar baricéntrico; después se ejecuta el deslizamiento de un tramo completo de 36 m, del grupo de vigas, repitiéndose la operación descrita hasta completar un grupo de 6 vigas, provisto de prolongación metálica posterior.

Junto al grupo anterior se forma otro y un tercero, hasta terminar la mitad de la obra, realizando operaciones análogas en la otra parte. A medida que se van colocando en posición los grupos de vigas, se efectúa el pretensado definitivo y se relaja el auxiliar, procediendo después a la inyección y formación de juntas entre los grupos de vigas.

La originalidad y la ventaja de la operación de autolanzamiento consisten en el deslizamiento continuo de las vigas, con una velocidad de 6 m/hora aproximadamente, sin tener que recurrir —como en otros casos— al levantamiento de toda la estructura para lograr el retorno del carro de lanzamiento.

Aquí se ha llevado a cabo, por primera vez, el deslizamiento y transporte de un grupo entero de vigas, de 216 m de longitud y 700 t, desde el taller de prefabricación a su posición definitiva, con un recorrido de 500 m. Los esfuerzos introducidos en la pila de lanzamiento son moderados, con un coeficiente de rozamiento de 0,04 aproximadamente, por lo que se ha tenido sólo en cuenta para las pilas de mayor altura.

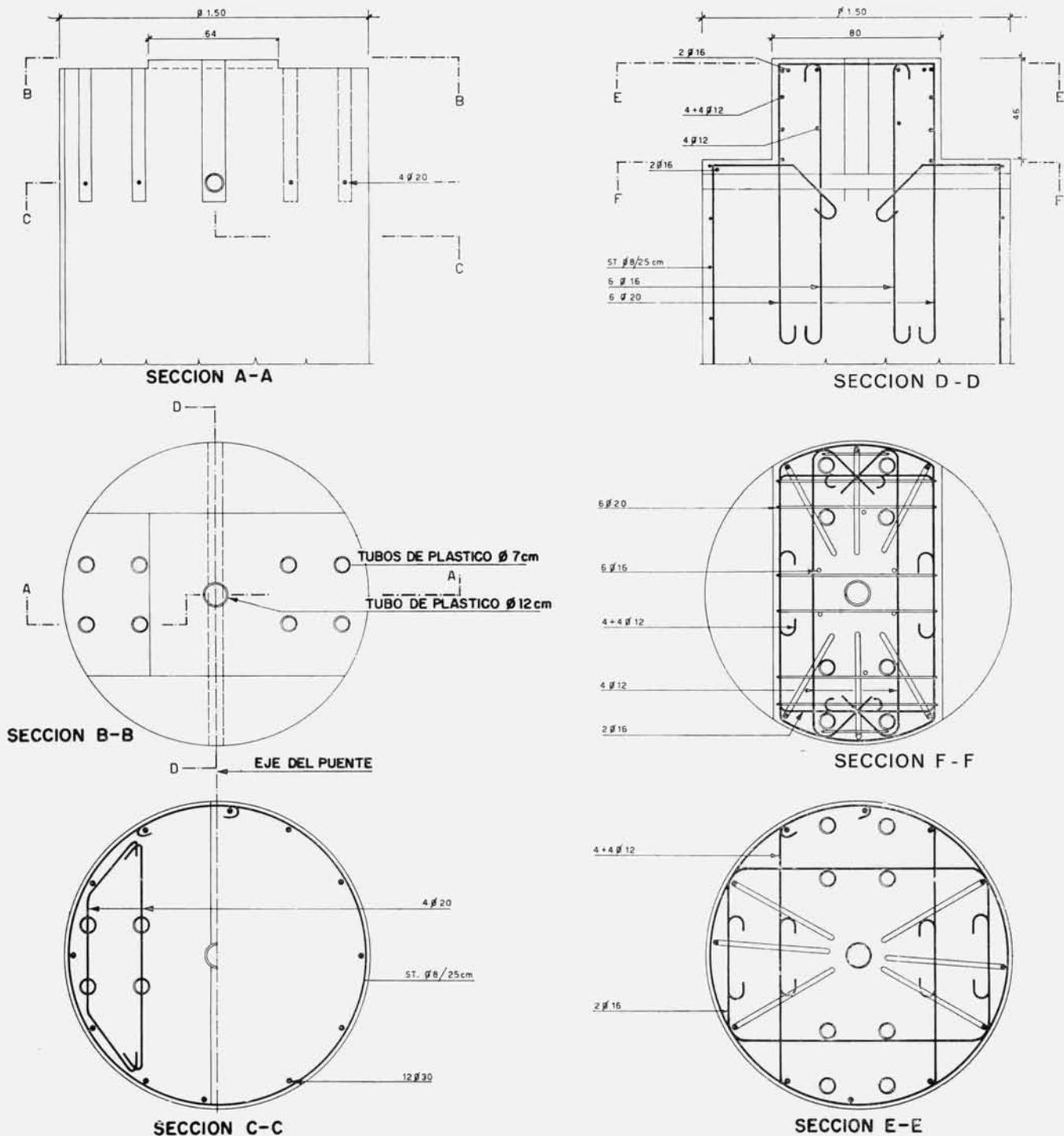
Estudio estático

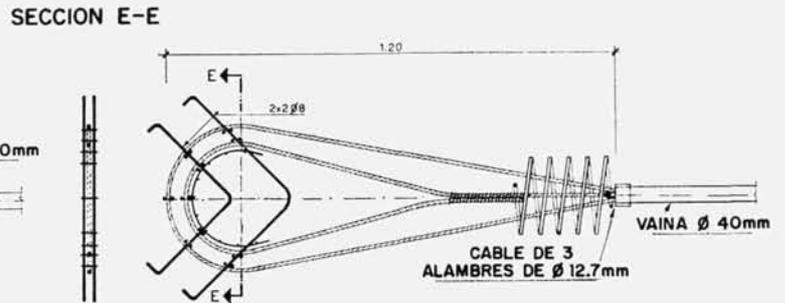
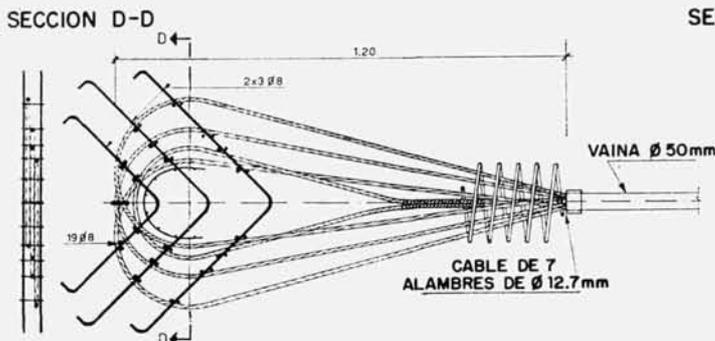
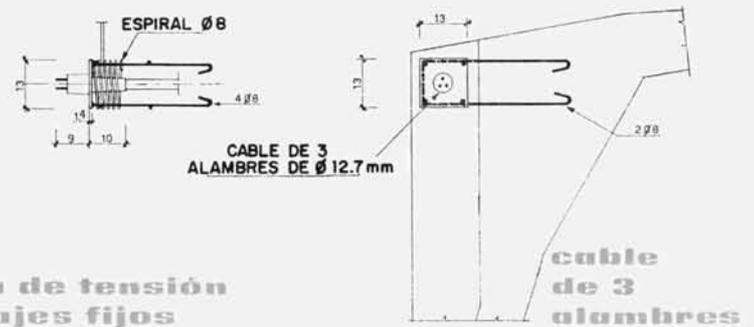
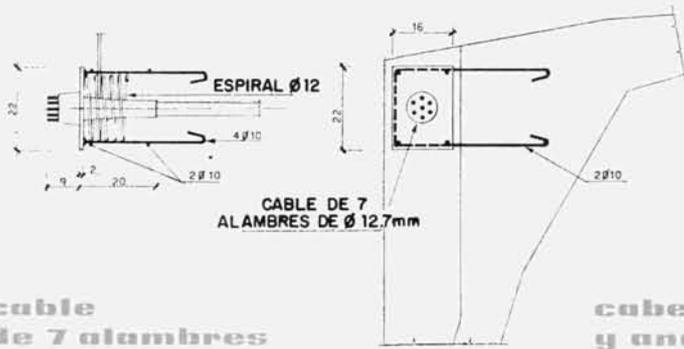
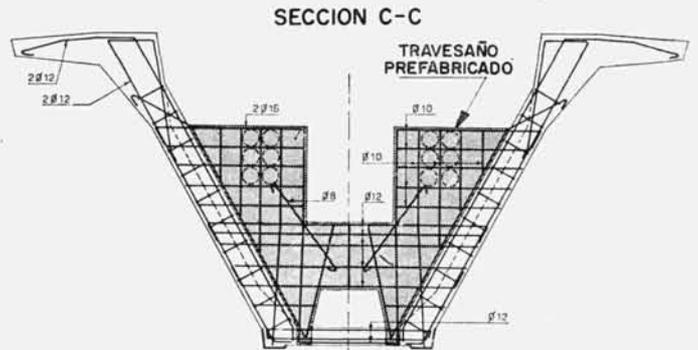
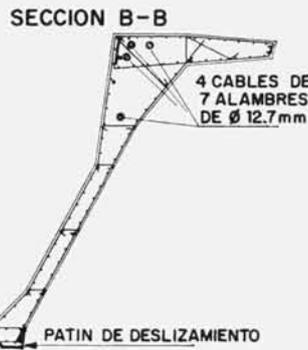
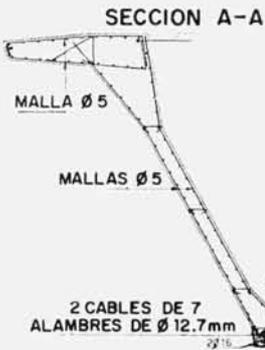
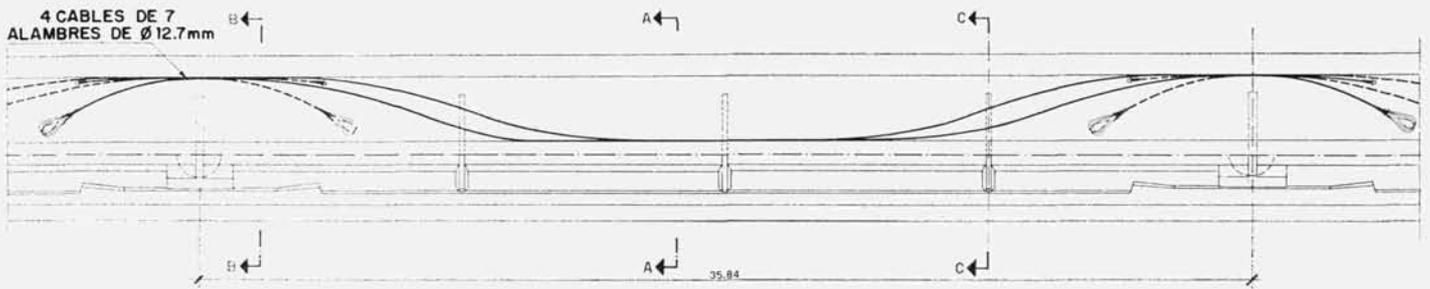
El estudio estático se halla estrechamente ligado al procedimiento ejecutivo.

Se han considerado los esfuerzos debidos a las deformaciones de vertido, en la fase de curado artificial, estando solidarios los elementos con otros ya construidos y colocados.

Los fenómenos viscosos producen una disminución de los esfuerzos derivados de la construcción gradual, y, en unión del efecto del pretensado definitivo, tienden a asemejar el régimen estático al de vigas continuas.

cabeza de una pila



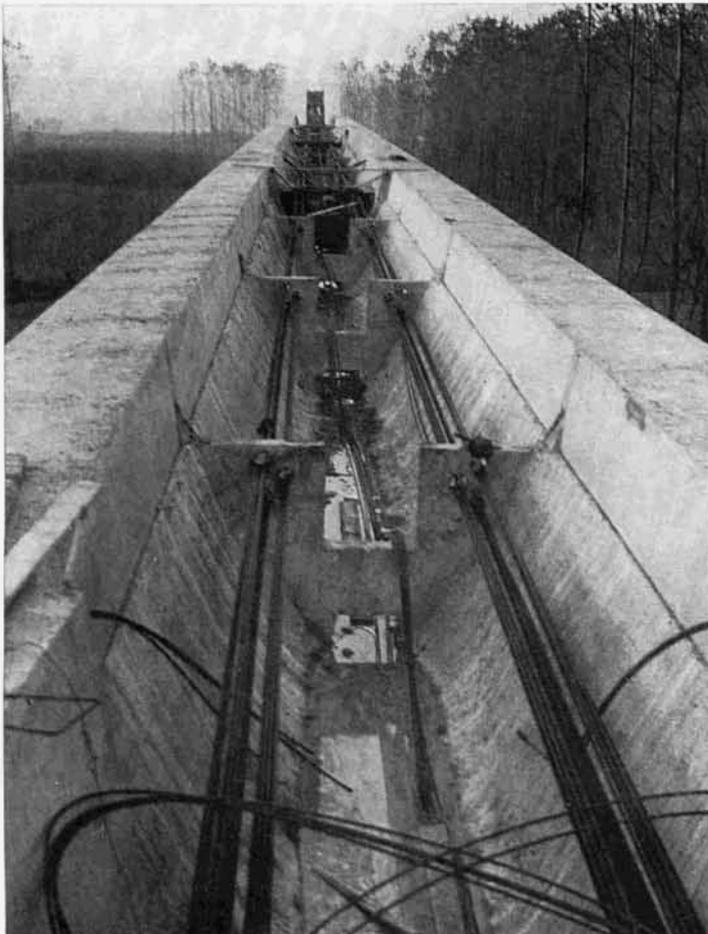
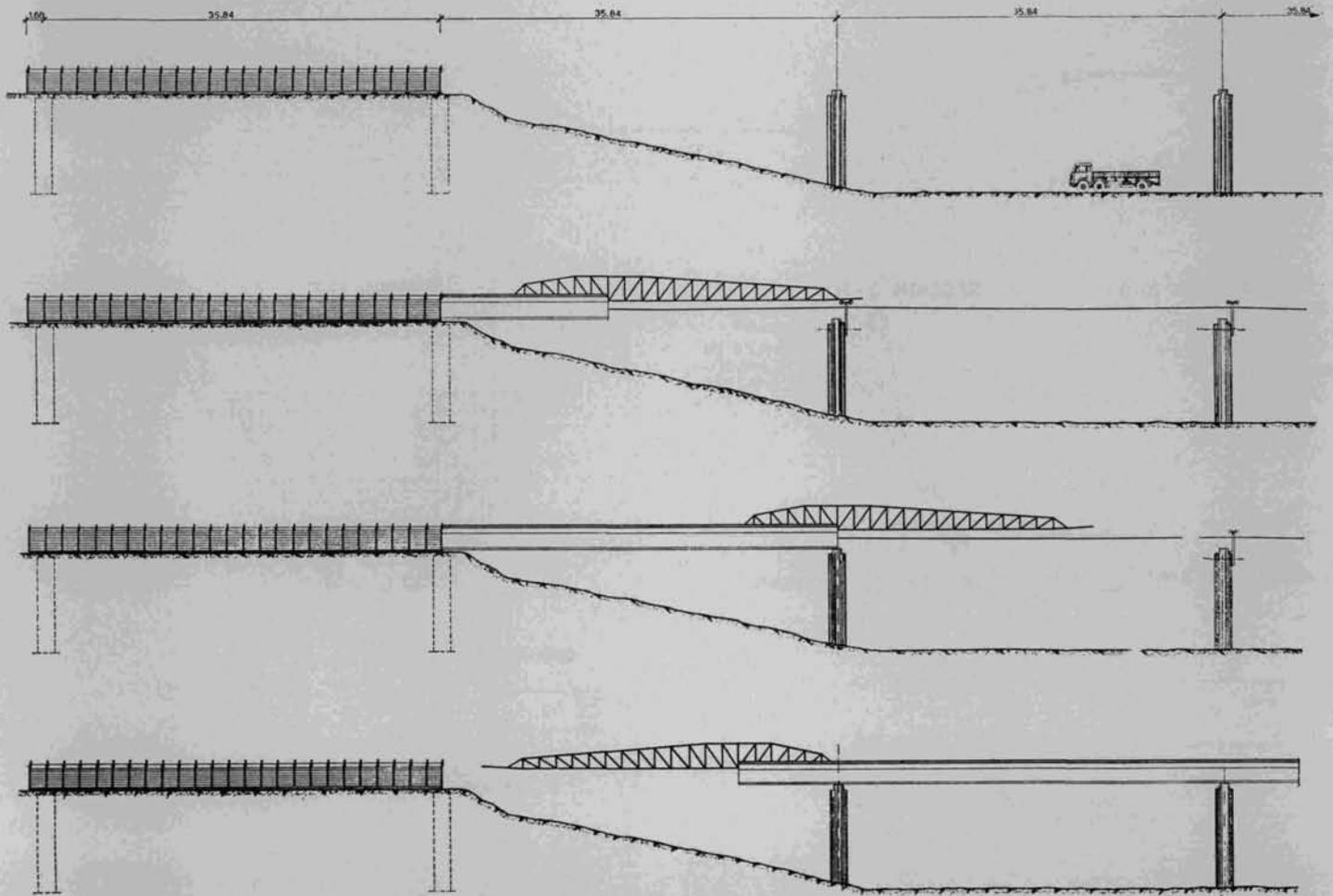


armaduras ordinaria y de pretensado de una viga

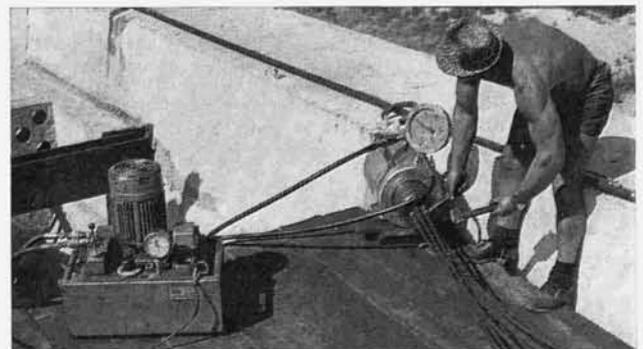
En la fase de lanzamiento deben considerarse los esfuerzos de rozamiento sobre las pilas y el esfuerzo del bastidor aplicado en una sección a nivel baricéntrico, además de tener en cuenta las imperfecciones de alineación —en los planos vertical y horizontal— de los patines de corrimiento y de la propia viga.

Por todas estas razones es fundamental la elección de una estructura de sección abierta, de paredes delgadas y provista de travesaños con poca rigidez, ya que así se obtiene una mejor deformabilidad, sin un incremento excesivo de los refuerzos, además de soportar mucho mejor cualquier posible desalineación de los apoyos.

fases del lanzamiento



Gatos de lanzamiento.



Tesado de cables.

Pretensado auxiliar.



Se ha tenido un especial cuidado en el estudio de la transmisión de las reacciones de los apoyos al sistema mixto vigas-prolongación de acero, puesto que sus diferentes rigideces influyen directamente en el régimen estático del conjunto.

Son de gran importancia los esfuerzos secundarios que se derivan de la transmisión del pretensado auxiliar (690 Mp) a la viga de hormigón, máxime cuando tal pretensado es libre, lo que ha obligado a compensar la inestabilidad del sistema viga-cables externos, fijándolos al hormigón en los travesaños.

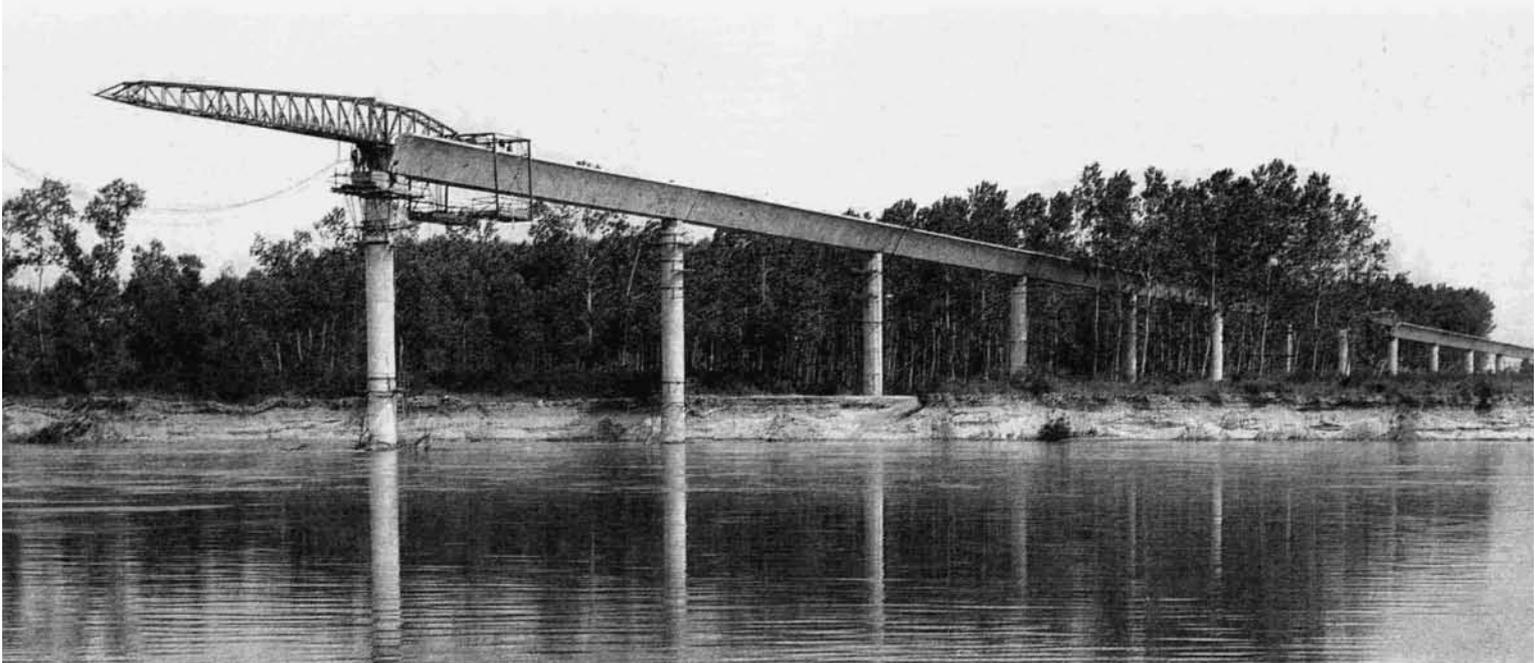
En lo que respecta al detalle de los cálculos de la estructura, en condiciones finales de sobrecarga (1,3 Mp/m.l. de tubería y carga linealmente variable de 0,5-2,5 Mp/m.l. de líquido), se ha resuelto la viga continua, determinando la hiperestática y los momentos parásitos debidos al pretensado definitivo no concordante, tarándose los resultados, realizando una distribución de sollicitaciones en consonancia con la sección abierta de paredes delgadas. Sustancialmente, de acuerdo con la teoría conocida de estructuras laminares, se ha determinado el régimen estático de un conjunto de elementos de chapa —sometidos a cargas y dispuestos en el espacio de modo que se individualice la sección elegida— que se transmiten a lo largo de los bordes comunes, acciones desconocidas —flectoras y cortantes transversales— y acciones normales de corrimiento longitudinal, cuya determinación se obtiene mediante ecuaciones de congruencia que se pueden establecer independientemente de la abscisa considerada, a condición de que sean desarrolladas las acciones desconocidas y la carga en serie de Fourier. En nuestro caso se ha tomado, como luz del elemento considerado, la distancia entre puntos de momento flector nulo, obtenidos resolviendo la viga continua.



La aproximación introducida evita la resolución de la estructura laminar continua* y permite obtener una distribución de solicitaciones mucho más semejante a la realidad que la que se obtendría considerando la sección transversalmente indeformable. En estas operaciones ha colaborado el Centro de cálculo electrónico de Locarno, dotado de programa Stress, que ha permitido la determinación de las características de sollicitación en 40 secciones para cada tramo y el proyecto automático de su desarrollo, teniendo en cuenta incluso las deformaciones debidas al esfuerzo cortante.

En la realización de esta obra han colaborado: la empresa Presspali ed Edim, de Milán, en la ejecución de los pilotes, pilas y vigas, siendo el director de obra el Dr. Ing. Luigi Gagliardi; la Sociedad Beton Precompresso, de Milán, en lo referente al pretensado y lanzamiento, teniendo como consultor especial, para esta última operación, al Ing. Mario Rovera; en el estudio del Ing. Giancarlo Giuliani se ha ideado el conjunto, se ha realizado el proyecto estático y se han supervisado las obras.

* Con las teorías actuales de estructuras laminares continuas, se pueden obtener las funciones de las acciones mutuas, en el contorno de las láminas, bajo la forma de series de convergencia muy lentas, por lo cual el procedimiento no es de utilización práctica, ni siquiera con el auxilio de ordenadores electrónicos.



résumé • summary • zusammenfassung

Nouveau pont pour le pipe-line d'Europe centrale

Giancarlo Giuliani, Dr. ingénieur

Ce pont, construit sur le Pô, près de Pavie, a une longueur totale de 1.370m, divisée en tronçons de 36 m de long, franchies par quatre poutres continues, de 6 portées, et deux poutres continues de 7 portées. Les piliers, de 14 m de hauteur et 1,50 m de diamètre, ont été construits sur le prolongement des pilotis des fondations.

L'auteur explique dans cet article les particularités de l'ouvrage et le procédé de lancement adopté.

New Pipeline Bridge for Central Europe

Giancarlo Giuliani, Dr. engineer

This bridge runs over the Po river, near Pavia, and is 1,370 m long. It is divided into spans of 36 m length each. The horizontal structure of the bridge consists of sets of four continuous girders, running over six spans, and two continuous girders, extending over seven spans. The piles are 14 m high and 1.50 m in diameter, and rest on the extension of the foundation piles.

This article describes details of the project and the system of placing the continuous girders.

Die neue Brücke für die mitteleuropäische Pipeline

Dr. Giancarlo Giuliani, Ingenieur

Diese in der Nähe von Pavia über dem Po erbaute Brücke hat eine Gesamtlänge von 1.370 m und ist in Abschnitte von 36 m Länge mit vier durchgehenden Trägern mit sechs Öffnungen und zwei durchgehenden Trägern mit sieben Öffnungen aufgeteilt. Die Pfeiler mit 14 m Höhe und 1,50 m Durchmesser sind auf der Verlängerung der Gründungspfeiler errichtet worden.

Der Artikel erläutert die Besonderheiten des aBus und das angewendete Vorbauverfahren.