

562 - 75

ejecución de puentes pretensados por voladizos sucesivos continuación

CARLOS FERNANDEZ CASADO, *ingeniero de caminos*

sinopsis

El sistema de construcción por voladizos sucesivos ha permitido ampliar, de modo extraordinario, las luces de los puentes de tramo recto de hormigón pretensado. Actualmente se construye el puente de Bendorf con tramo central de 258 metros.

Se utilizó por primera vez en Brasil para la construcción de un puente de hormigón armado normal sobre el río Peixe, pero quedó en desuso—salvo poquísimas excepciones—hasta que lo volvió a poner a punto Firsterwalder, veinte años después, en el puente, sobre el Neckar, de hormigón pretensado. Con esta nueva técnica se conseguían todas las ventajas del sistema y una gran rapidez constructiva.

El sistema constructivo conduce directamente al tipo estructural de ménsulas compensadas, formando células T que se enlazan entre sí por articulación deslizante para integrar vanos de doble luz que el brazo de ménsula, pero puede aplicarse a casi todos los demás tipos: dintel con voladizos (que fue la primera nueva aplicación), pórtico de un solo vano, pórtico en T, tramos continuos, etc.

El modo típico es avanzar con el encofrado que se ancla y vuela sobre la parte construida, llevando un ritmo de módulo semanal de unos 3,50 m de longitud, pero también puede procederse por dovelas prefabricadas que van aplicándose sucesivamente contra las ya construidas.

(Por la extensión de este artículo será publicado en varios números sucesivos.)

El caso de adecuación perfecta del procedimiento constructivo a las condiciones definitivas de servicio del puente es el de luces importantes, con gran altura de rasante o con un terreno inferior que no permite apoyos intermedios, y se avanza por ménsulas simétricas dobles, desde los pilares, para llegar a unirse en los centros de vanos. El dintel adecuado es de altura variable, con gran diferencia entre apoyos y centro. La armadura de pretensado se localiza exclusivamente en la cabeza superior, puesto que la flexión es siempre del mismo sentido, salvo en una limitada zona central, donde aparecen flexiones contrarias, pero muy reducidas, al actuar la sobrecarga. La distribución de la armadura también va de perfecto acuerdo porque a partir de la sección de apoyo, donde es máxima, puede ir perdiendo elementos, lo cual proporciona un cierto número de barras salientes en cada bloque que se anclan en la sección externa del mismo, dándole el pretensado que precisa en su trabajo inicial de voladizo, e incrementando la fuerza de pretensado en los bloques anteriores, de acuerdo con el incremento de resistencia que necesitan al aumentar con los bloques sucesivos los momentos flectores en todas las secciones.

Como ya hemos indicado, el sistema Dywidag de pretensado declara, de un modo muy sencillo, los detalles constructivos del sistema. Tratándose de barras redondas con rigidez propia, anclajes de tuerca y empalmes de manguito, las armaduras se van ejecutando por trozos siguiendo el módulo del bloque, y así tienen una longitud exacta de dos o tres vuelos de bloque. En cada junta de construcción se anclan los que le corresponden, continuando más allá con vuelo pequeño todas las demás, que bien sobresalen previamente o se han prolongado mediante empalme en dicha sección.

Las condiciones de trabajo de la estructura son muy claras, durante la construcción, y para su propio peso funciona cada voladizo como independiente, es decir, de modo isostático. Esto hace que la acción del pretensado, ejercida totalmente durante esta primera fase, no produzca efectos hiperestáticos y, además, se va introduciendo de un modo gradual en todas las secciones de la estructura. En servicio, con las articulaciones centrales de libre deslizamiento, es hiperestática, pero esto hace que coadyuven todos los tramos. Las variaciones de temperatura no producen efecto resistente ni en dintel ni en pilares, aunque sean solidarios. Únicamente los asientos de los cimientos pudieran introducir flexiones en los dinteles, y en éstos y los pilares si están solidarios.

La distribución de la armadura resulta perfectamente adecuada al proceso constructivo y, además, el que existan flexiones de un solo sentido es ideal para la eficacia de la misma. Se concentra toda en cabeza superior con la máxima excentricidad en el esfuerzo de pretensado sin necesidad de establecer ondulaciones en las barras y únicamente desviaciones finales para repartir los anclajes. Para las condiciones de resistencia en rotura también es la situación perfecta la de armadura, pues tiene el mayor brazo de palanca posible, y, por tanto, se obtiene el máximo momento de rotura.

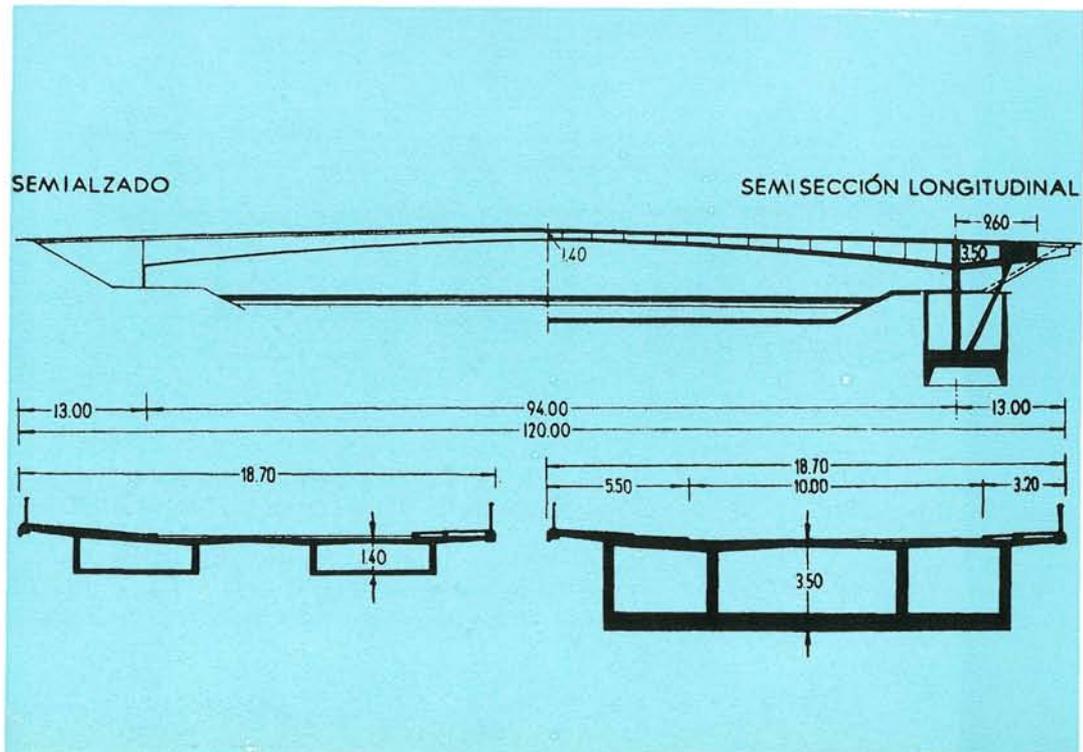
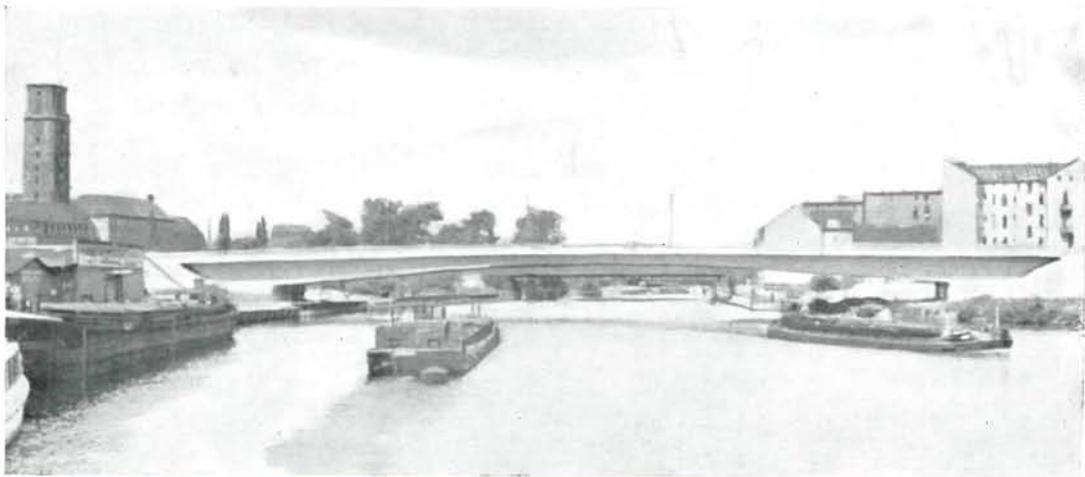
En cuanto al cálculo, no es menester insistir en la sencillez del mismo. La única especialidad corresponde a la actuación de la sobrecarga, pero las líneas de influencia pueden obtenerse con más sencillez que en las vigas continuas. El problema de análisis se plantea igualando flechas en articulación para medio tramo sometido a fuerza unidad y a una reacción ascendente situada en la articulación, con el otro medio tramo sometido únicamente a una acción en extremidad igual a ésta, pero descendente. Existen cálculos sistematizados de Courbon y de W. Stampf.

En el caso de varios vanos, el tipo estructural más adecuado al sistema constructivo es el de repetición de elementos en T formados por un pilar y dos voladizos equilibrados, que abarcan la mitad del vano en los internos y dan una luz mitad en los laterales. Pero también se ha aplicado a los tramos continuos y a los pórticos formados de un dintel de dos vanos apoyados en los extremos y solidario del pilar central.

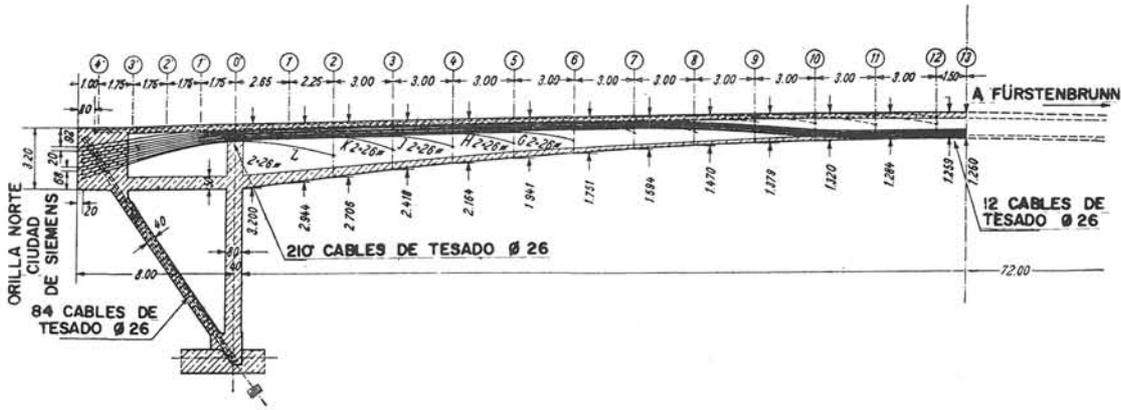
Lo normal es que la sección transversal varíe mucho desde el centro a los extremos, lo cual es siempre norma cuando se trata del tipo T con dos voladizos equilibrados. En cambio, en los pórticos en T con el dintel apoyado en sus extremos se ha adoptado altura constante. En el caso de vanos continuos hay soluciones de ambos criterios, es decir, con dinteles de altura constante, de variación de canto suave, o de brusca variación con gran afinamiento en sección central. Esto último coincide siempre con dejar articulación en esta sección, lo cual es obligado en el primer tipo indicado con elementos T sucesivos, pues de otro modo la repetición la haría prohibitivo al acumular efectos de variaciones de temperatura.

El proceso constructivo varía según los casos, correspondiendo la pureza del sistema al caso de elementos T con voladizos equilibrados, pues en este tipo se avanza simétricamente desde cada pila hacia las dos secciones medias de los vanos contiguos. En el caso de tramos continuos de tres vanos, lo normal es construir sobre andamio los laterales, avanzando entonces hacia la sección central con el contrapeso de los tramos construidos. Pero también se ha utilizado el procedimiento de avanzar desde las pilas, solidarizándolas provisionalmente al dintel durante la construcción. También se ha llegado a avanzar desde una pila hasta la siguiente, pero entonces no resulta adecuado tener accidentalmente el dintel en voladizo en toda la longitud de un vano, por lo cual se recurre siempre a una sustentación complementaria, o de apoyos provisionales metálicos intermedios que se recuperan, o mediante cables pasando por torres provisionales sobre las pilas desde las cuales simétricamente van a recoger secciones de los sucesivos avances de vanos contiguos. En el puente Nordswestbogen, de Berlín, donde se ha llegado al máximo avance de vanos completos de 85 metros, se han utilizado ambos dispositivos complementarios, primero cables y después torres metálicas.

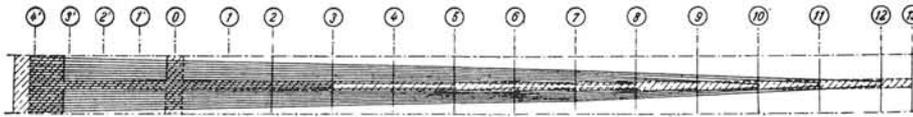
Puente Dischinger, en Berlín.
Dywidag, 1956.



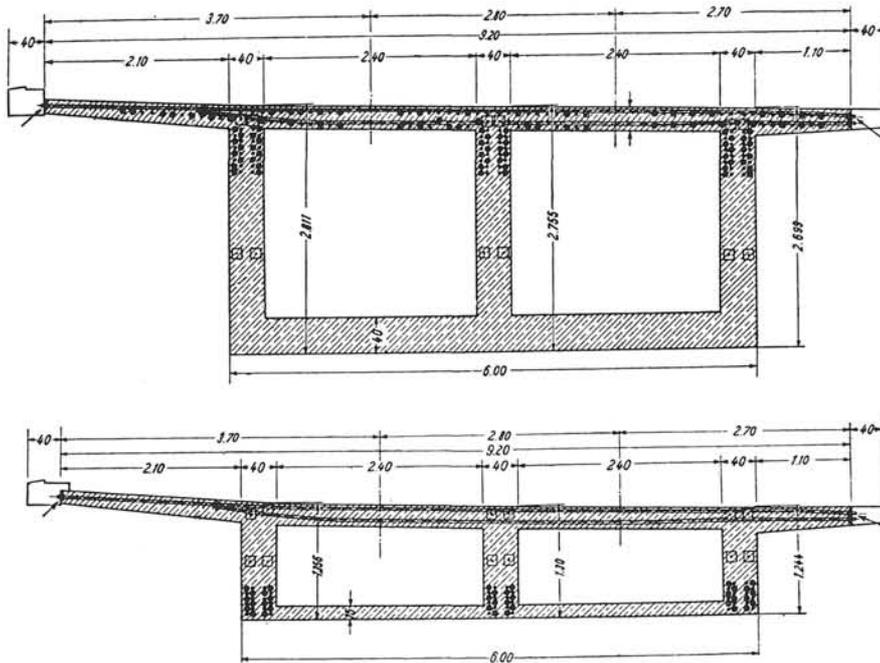
Puente Rohrdamm, en Berlín.
Dywidag, 1953.



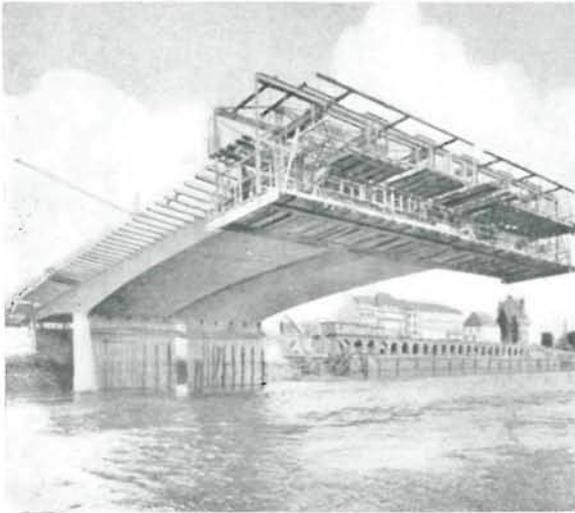
PLANTA DE UNA VIGA



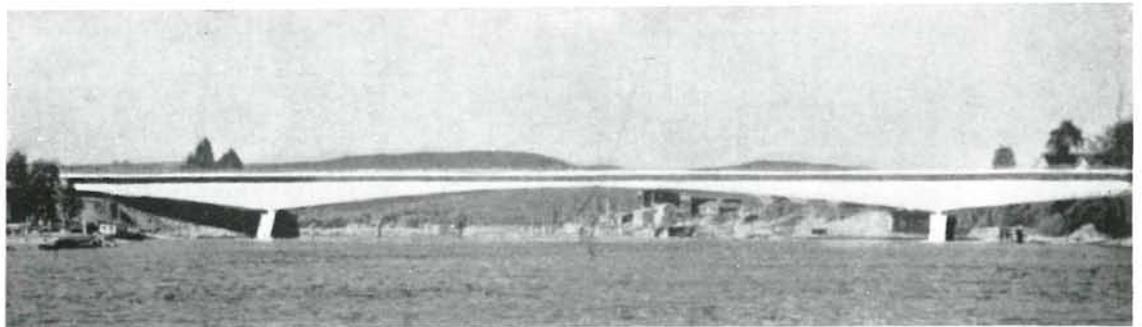
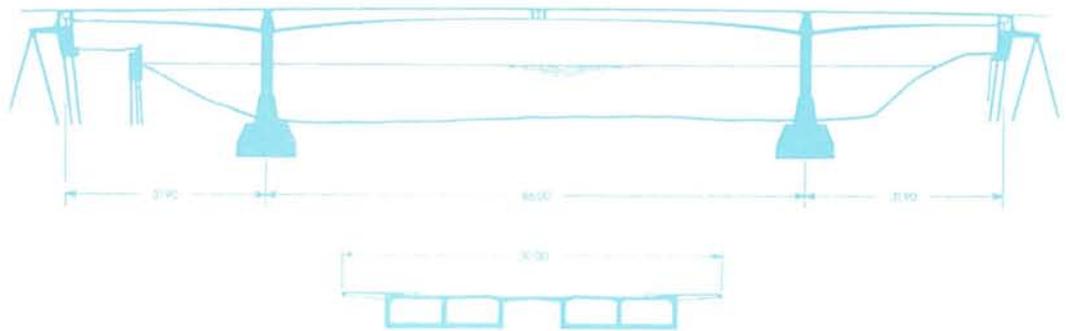
SEMISECCIONES TRANSVERSALES



La Empresa Dywidag ha construido un gran número de puentes empleando el sistema que denomina «Freivorbau», entre los cuales, además de los citados de un solo vano: Balduinstein, Neckar, Dischinger y Rohrdamm, en Berlín, y los de varios vanos del Mosela en Coblenza, el de los Nibelungos en Wörms y el Nordwestbogen de Berlín, tenemos los de Bremen sobre el Weser (31,90 + 86 + 31,90), el de Au-Lastenau sobre el Rin (51 + 88 + 51), el del Danubio en Ulm (38,2 + 78,0 + 33,7), el del Main en Karlstadt, etc. Además, con su asesoramiento

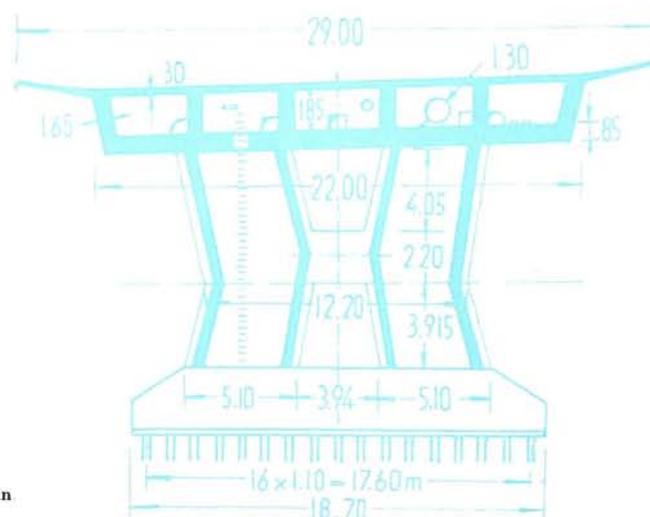
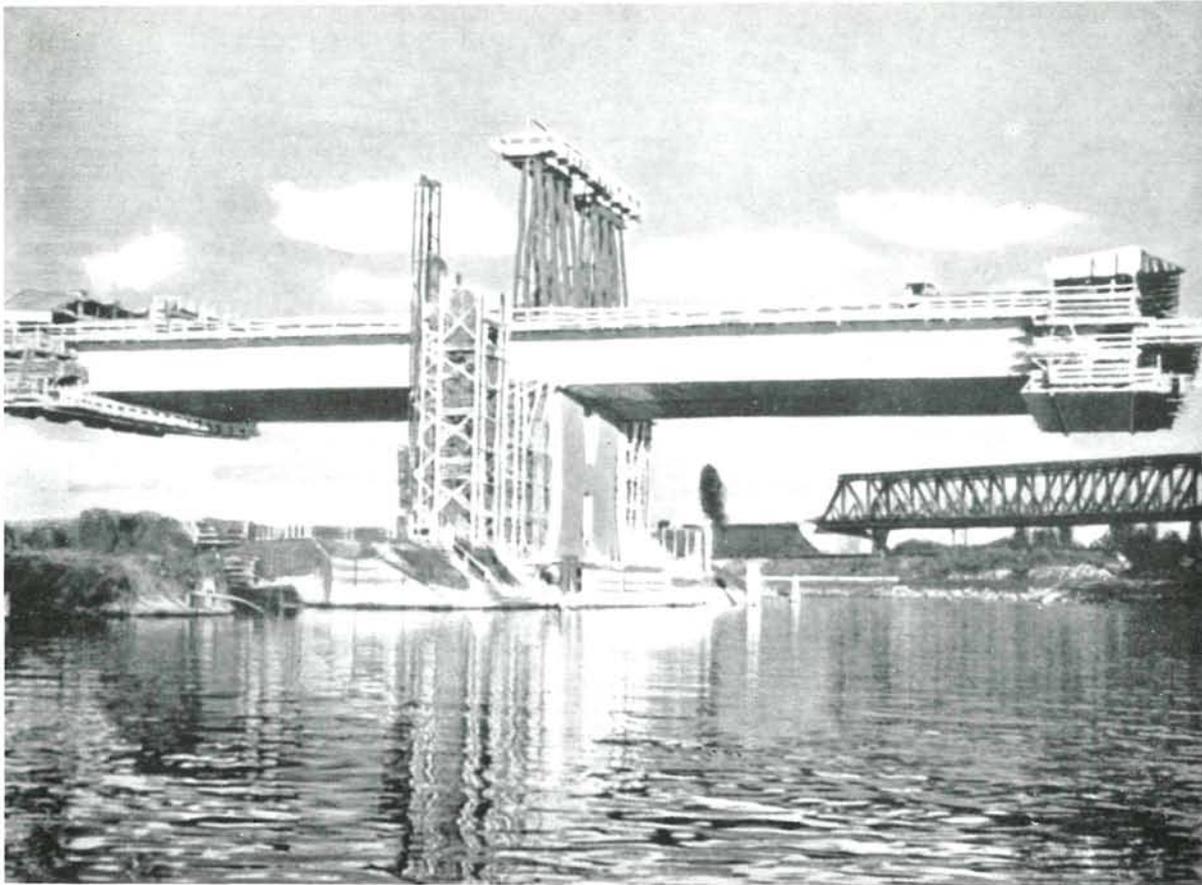


Puente sobre el Weser, en Bremen.
Dywidag.



Puente Tunsta sobre el Österdal.
Suecia.

y utilizando sus procedimientos se han llevado a cabo por distintas sociedades europeas una serie también numerosa con luces importantes, entre las cuales: el de Kallosund ($50 + 2 \times 107 + 50$), el de Tünsta sobre el Österdalälven ($41 + 106,5 + 41$), el de Stenungsund ($65 + 94 + 55$) y el de Kalli ($44 + 47 + 94 + 47 + 44$), todos ellos en Suecia; el de Trömsö ($24 + 80 + 24$) en Noruega, el Freudenau del puerto de Viena ($56,7 + 90,5 + 56,7$) en Austria, y los de Banosawa ($30 + 80 + 30$), Nada ($50 + 10 \times 70 + 50$) y Ranzan ($11,9 + 51,2 + 11,9$) en el Japón.



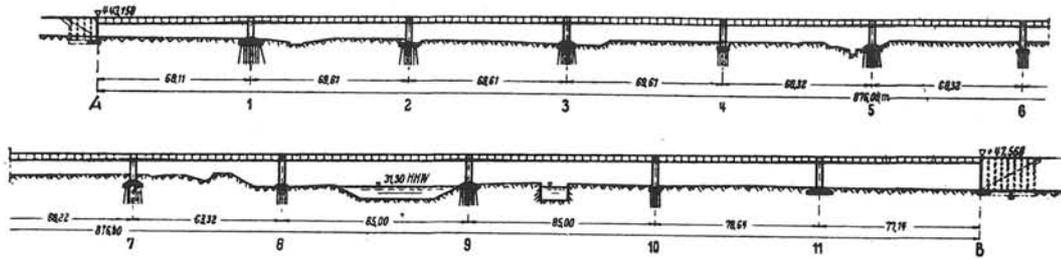
Puente de la Ronda Northwestbogen, en Berlín
Dywidag.

La máxima luz conseguida por esta Empresa corresponde al puente Höchts sobre el Main en Francfort, con $37,5 + 135 + 37,5$, y está en construcción el de Benford sobre el Rin, con $71 + 208 + 71$ metros, que tendrá el récord de luz libre salvada.

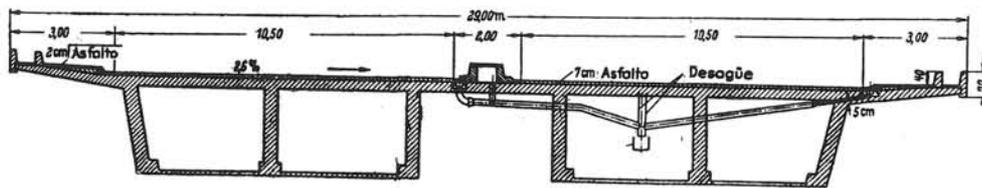
Este sistema constructivo es tan valioso que ha sido adoptado por otras Empresas constructoras después de puesto a punto y desarrollado en todas sus especialidades por la Empresa Dywidag, como ya hemos indicado. La Société des Grands Travaux de Marseille va a continuación en número e importancia de sus aplicaciones.

Puente Nordwestbogen, en Berlín.
Dywidag, 1959.

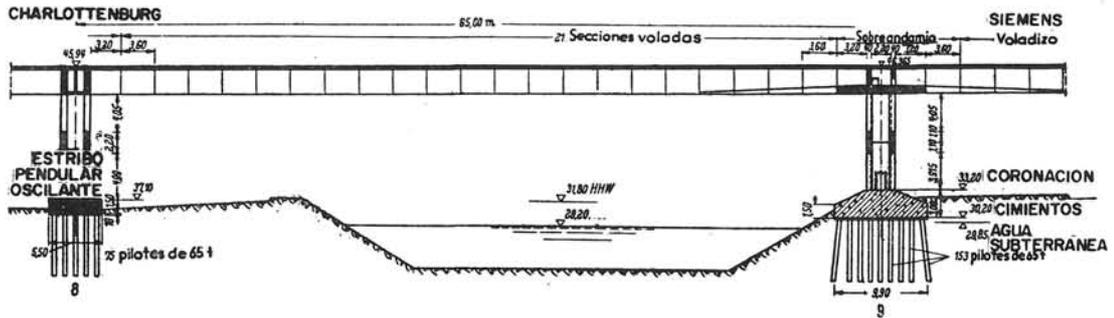
ALZADO



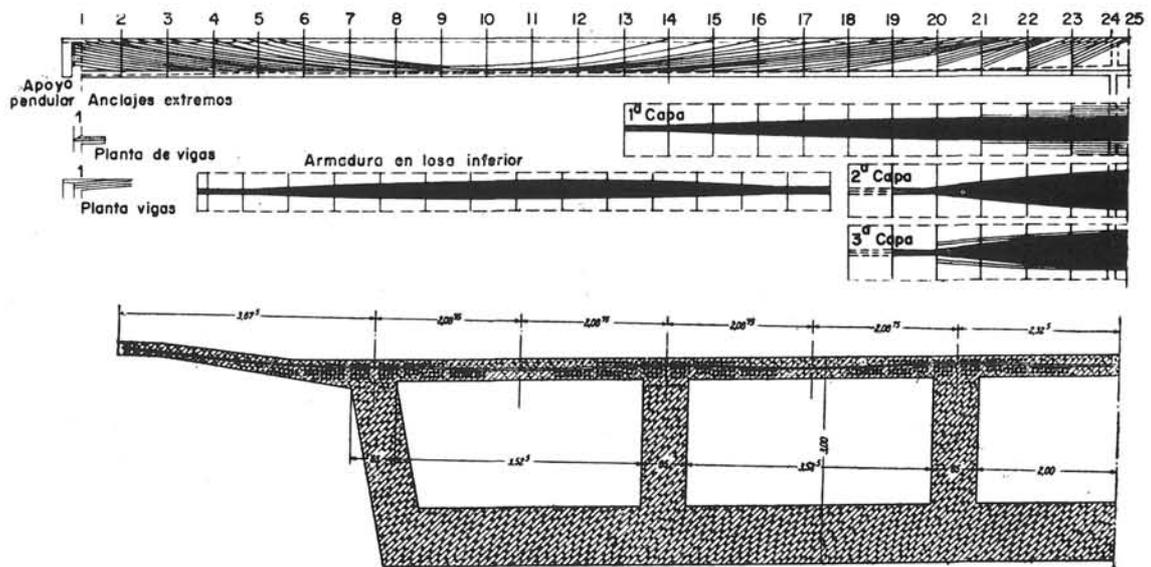
SECCIÓN TRANSVERSAL POR DINTEL

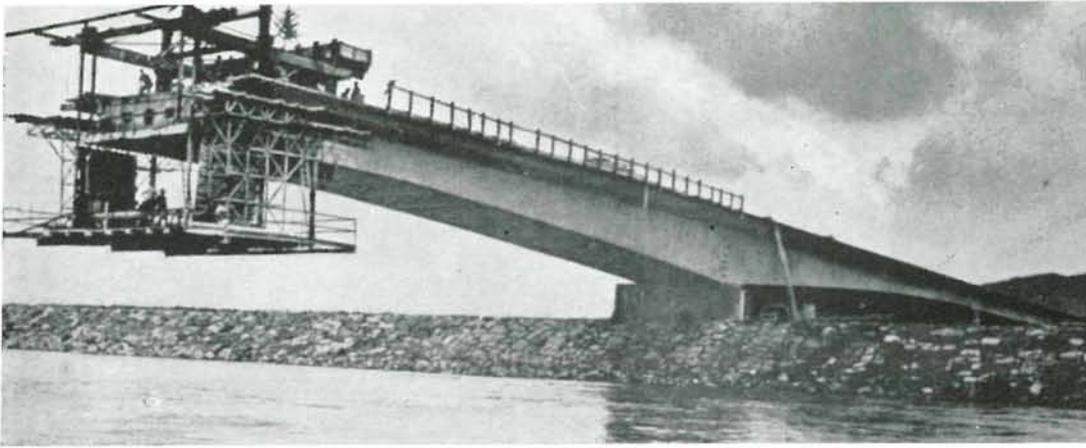


SECCION LONGITUDINAL



DETALLES DE ARMADURA





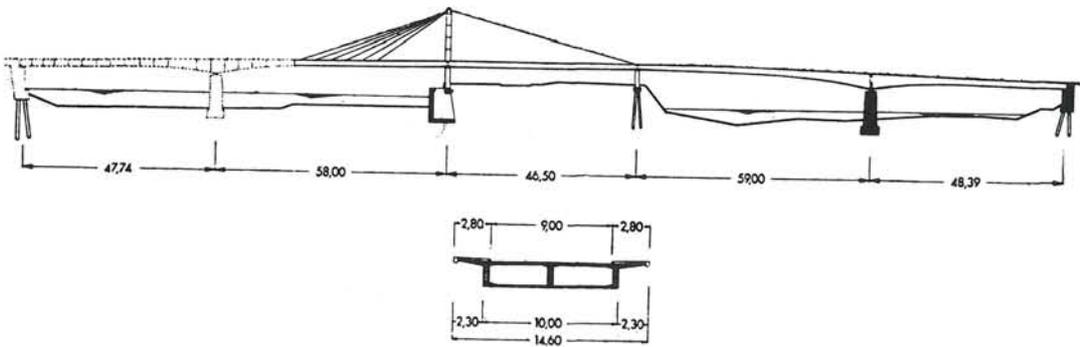
Construcción de tramos continuos por mitades. Puen- te de Au-Lustenau, en Austria.

Dywidag.



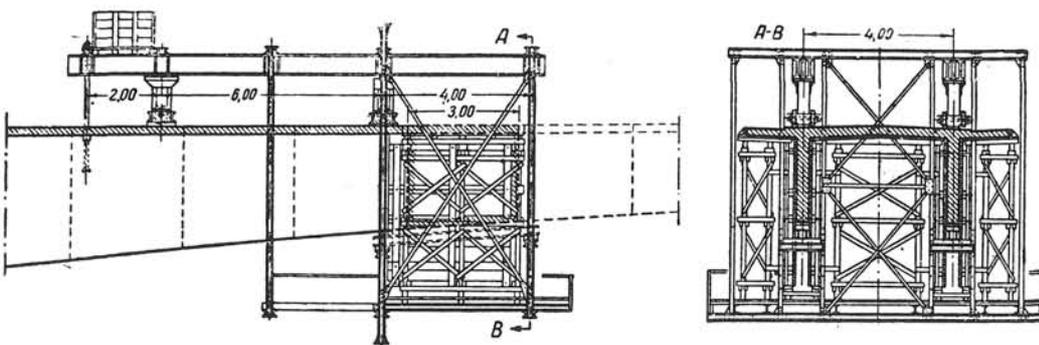
Puente sobre el Main, en Karlstadt

Dywidag.

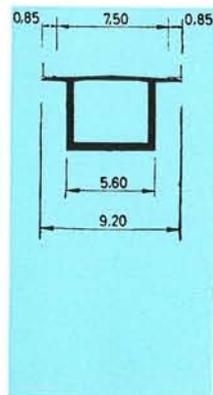
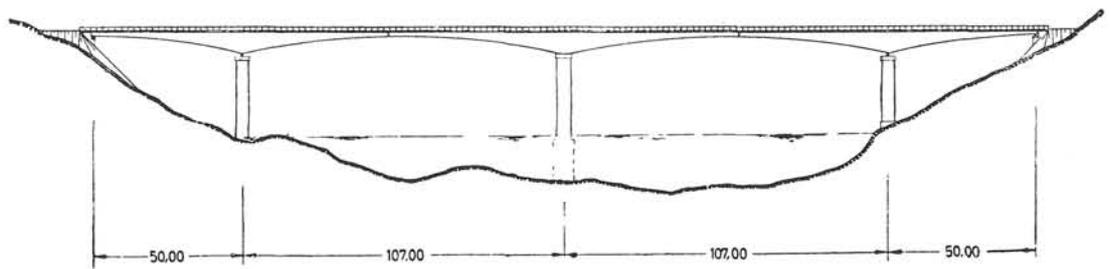
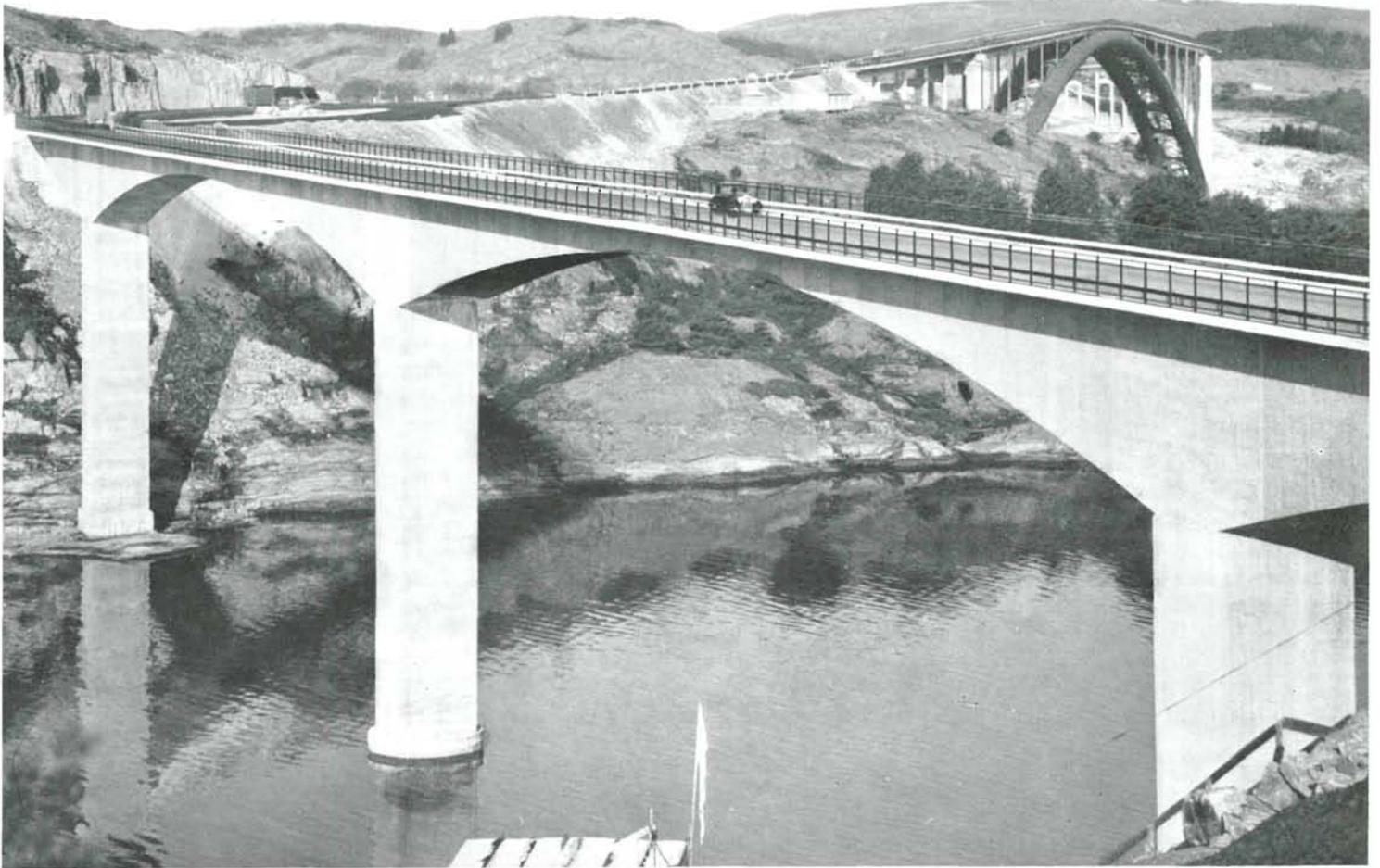


Puente sobre el Main, en Schwein- furt.

Dywidag.



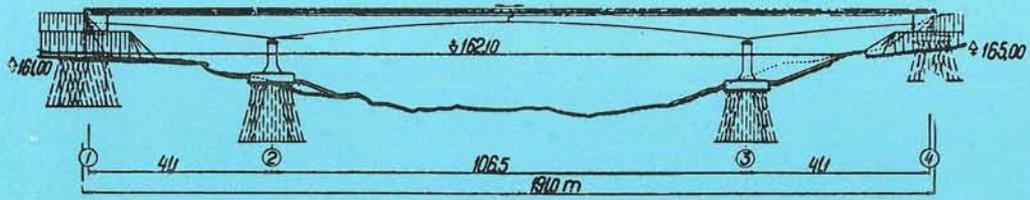
Detalles del anda- mio.



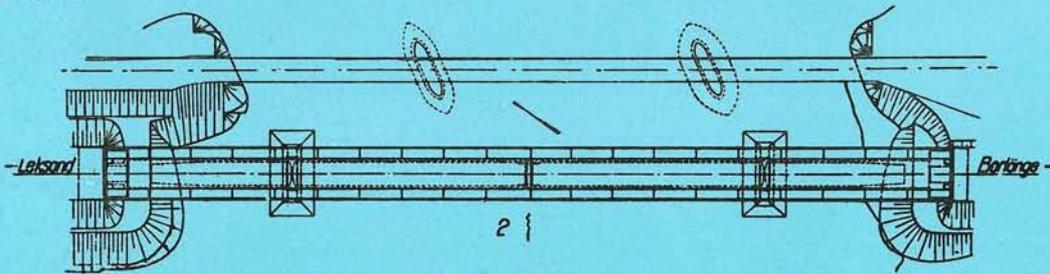
puente del Källösund (Suecia).
 fabricado en Cemento Portland.
 sistema Dywidag.

Puente Tunsta sobre el Österdalälven.
 Skanska Cementguteriet.
 Sistema Dywidag.

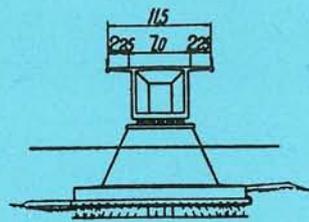
ALZADO



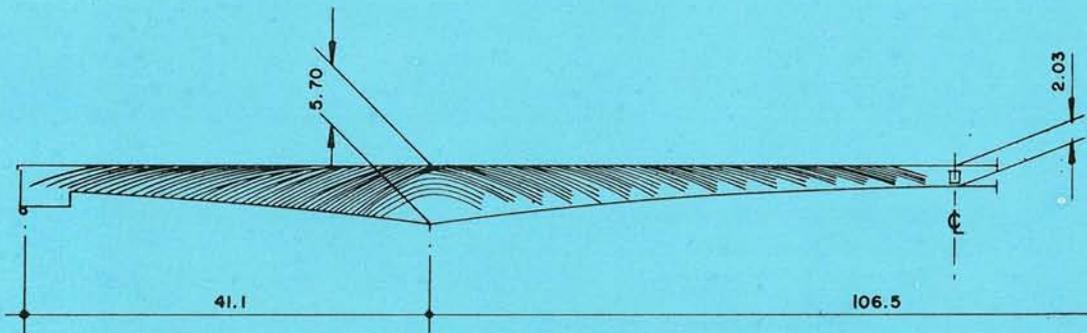
PLANTA



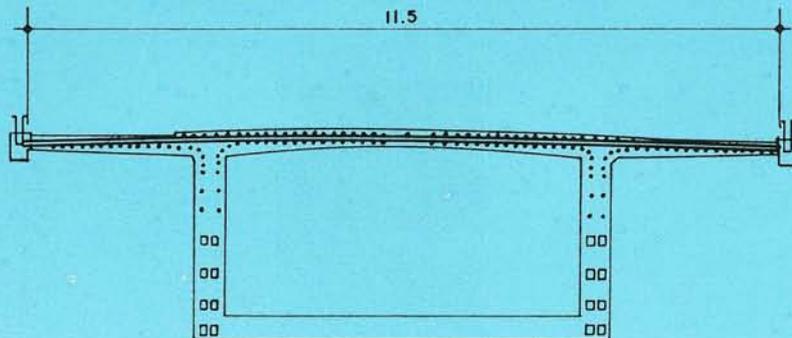
SECCION TRANSVERSAL

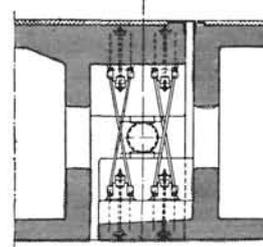
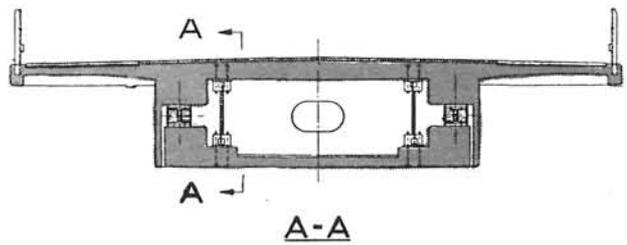
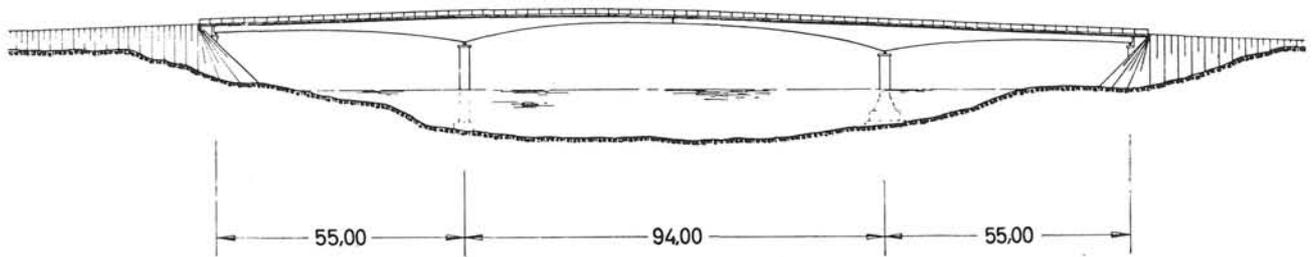
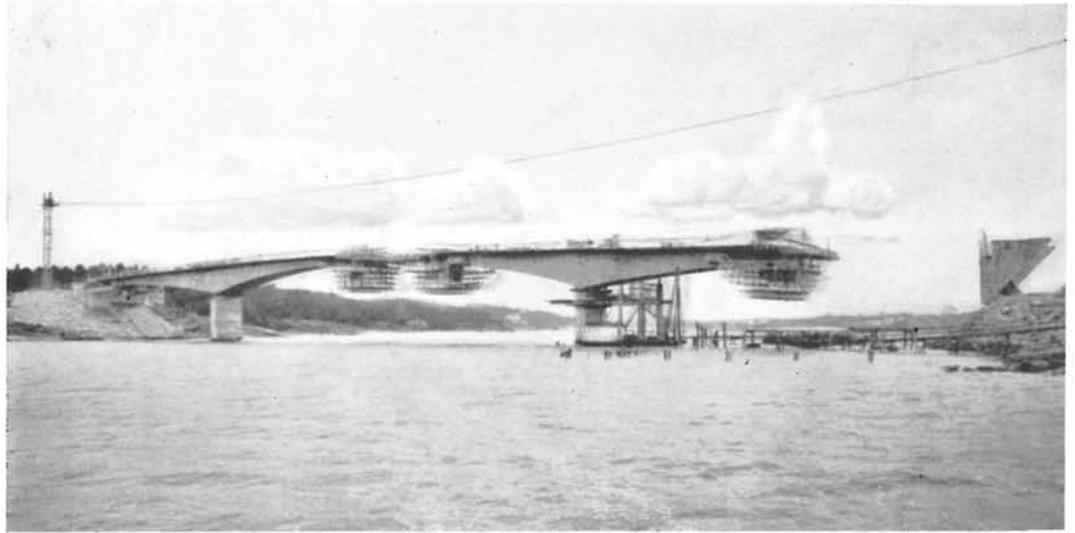
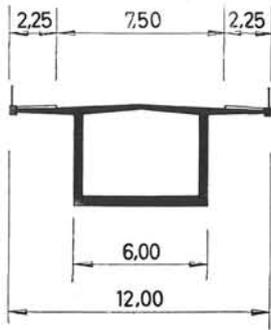


DETALLE DE ARMADURAS

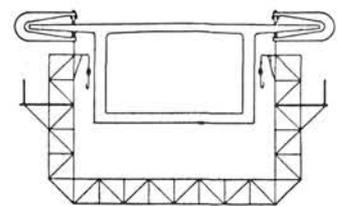
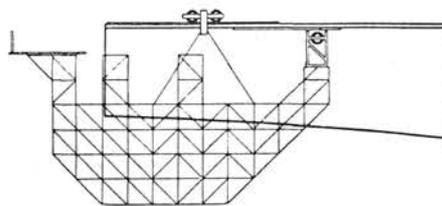


SECCION DEL DINTEL





ARTICULACION CENTRAL

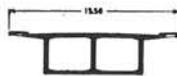
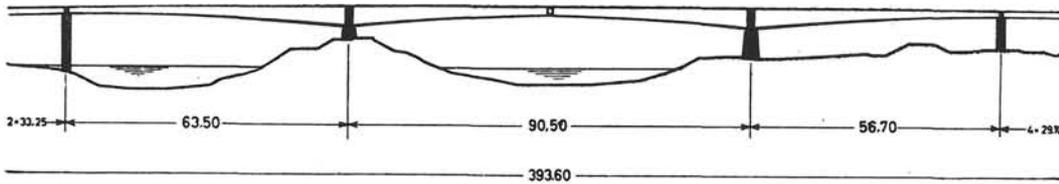


ANDAMIAJE

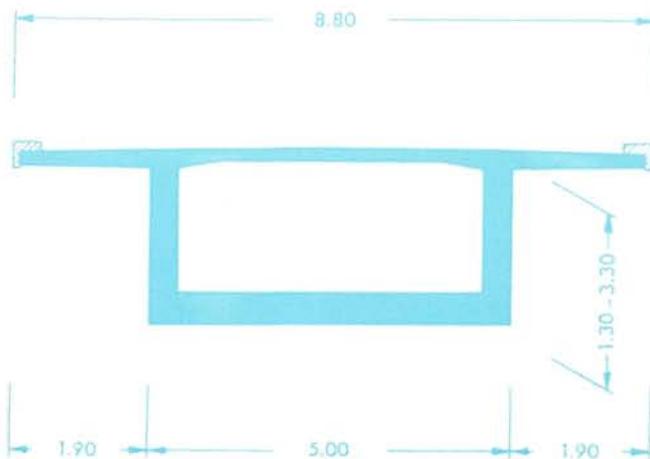
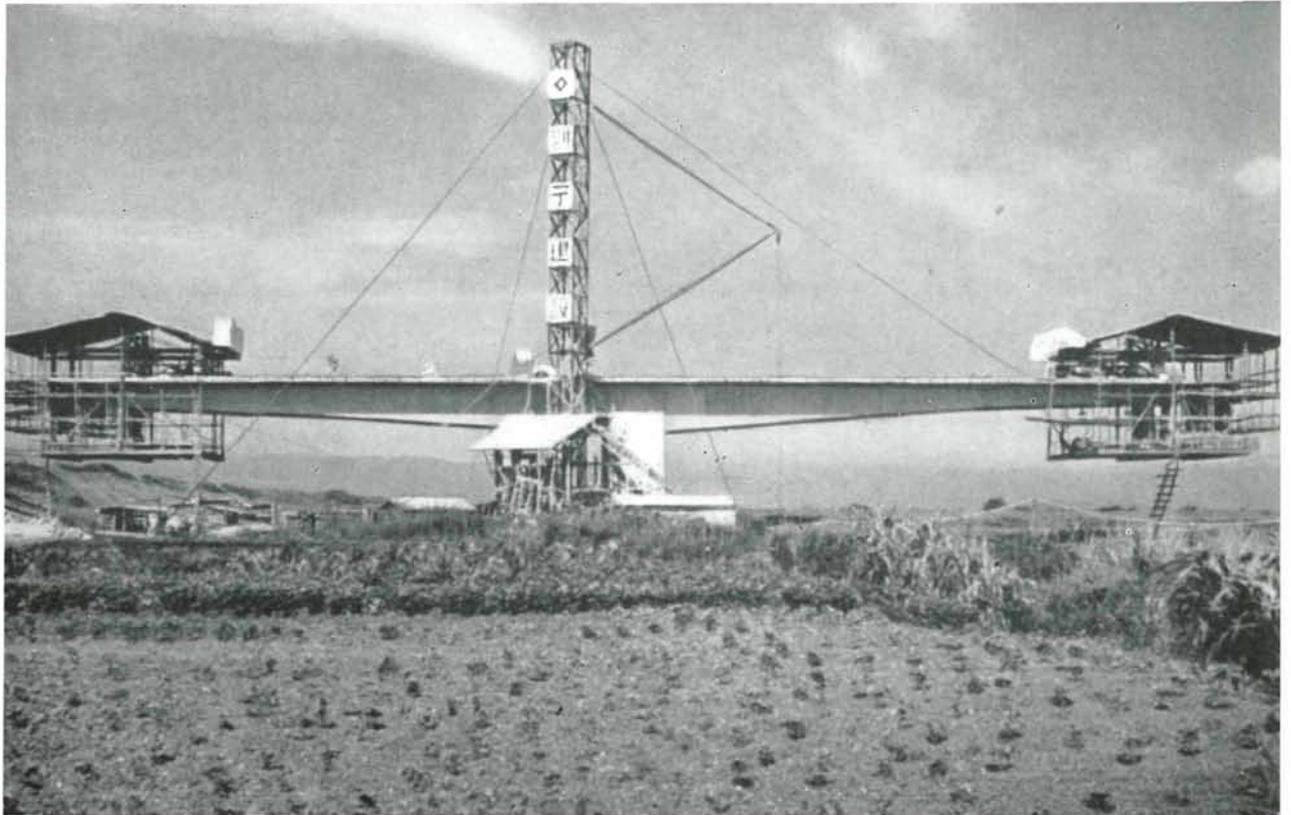
Puente sobre el Stenungsund (Suecia).

Puente Freudenau, en el Puerto de Viena.

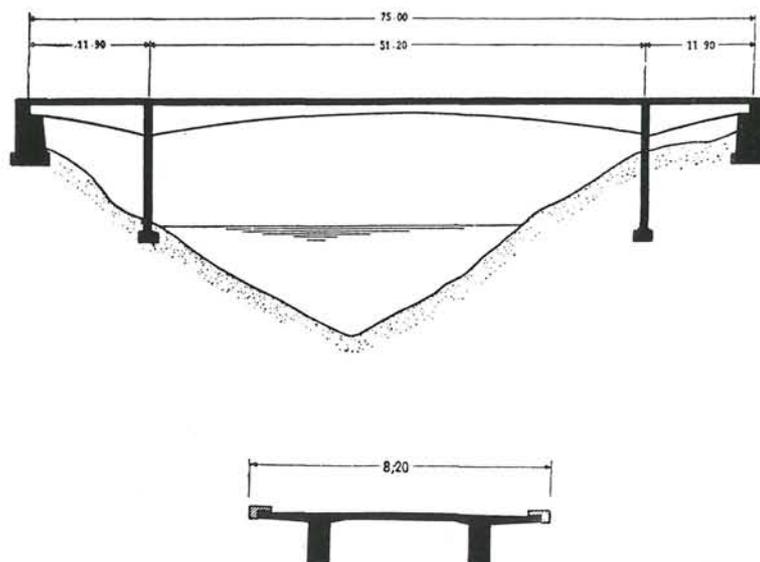
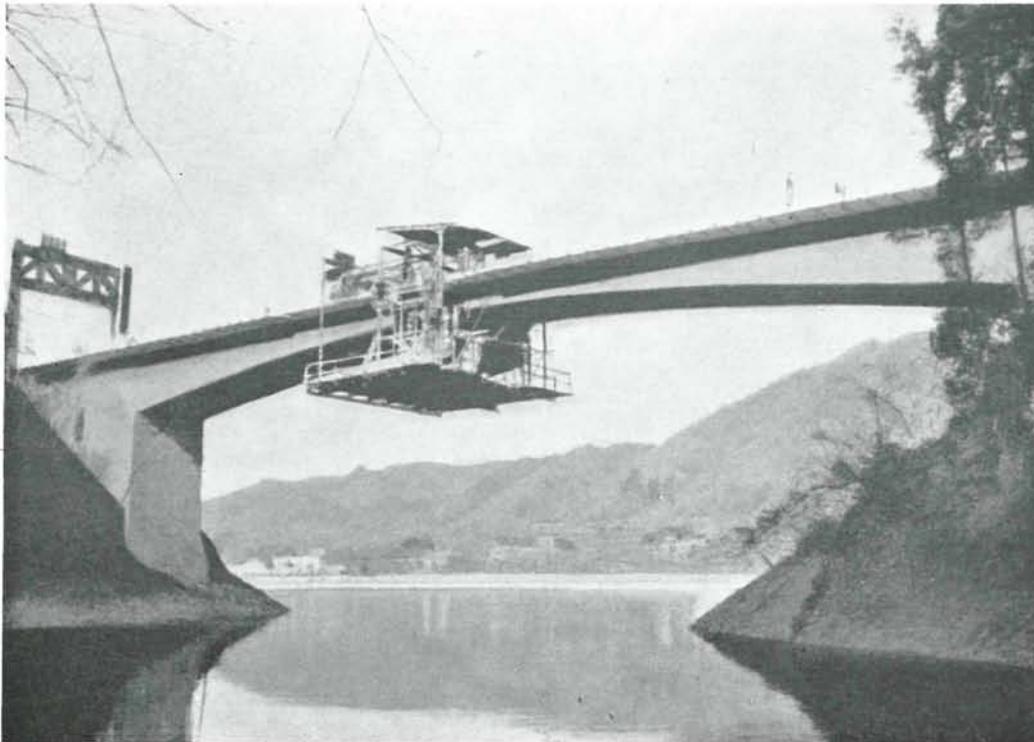
Dywidag, 1957.



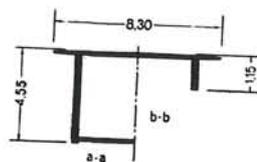
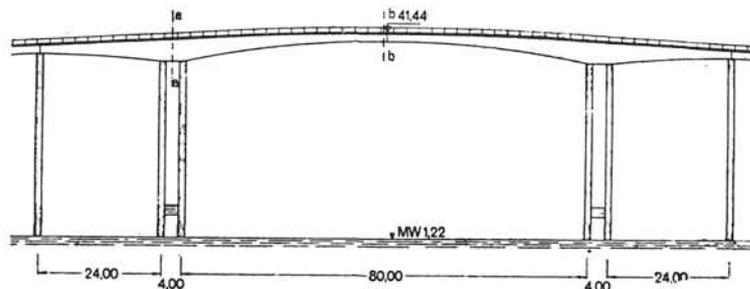
Empezó con el puente Chazey sobre el Ain en 1956, de tres vanos (41,2 + 57,6 + 41,2), con articulación central, dinteles solidarios de pilas y apoyados en los estribos. A este puente siguieron el de Beaucaire sobre el Ródano, con cinco vanos de 86,20 m; el de Ponte Nuovo en Córcega, con un solo vano de 69 m; el de Avignon sobre el Ródano, y, por último, el conjunto de los puentes del embalse de la Serre-Ponçon (1960), para el sistema viario que reemplaza al inundado por el embalse.



Puente de Nada (Japón) 50+10×70+50.
Sistema Dywidag.

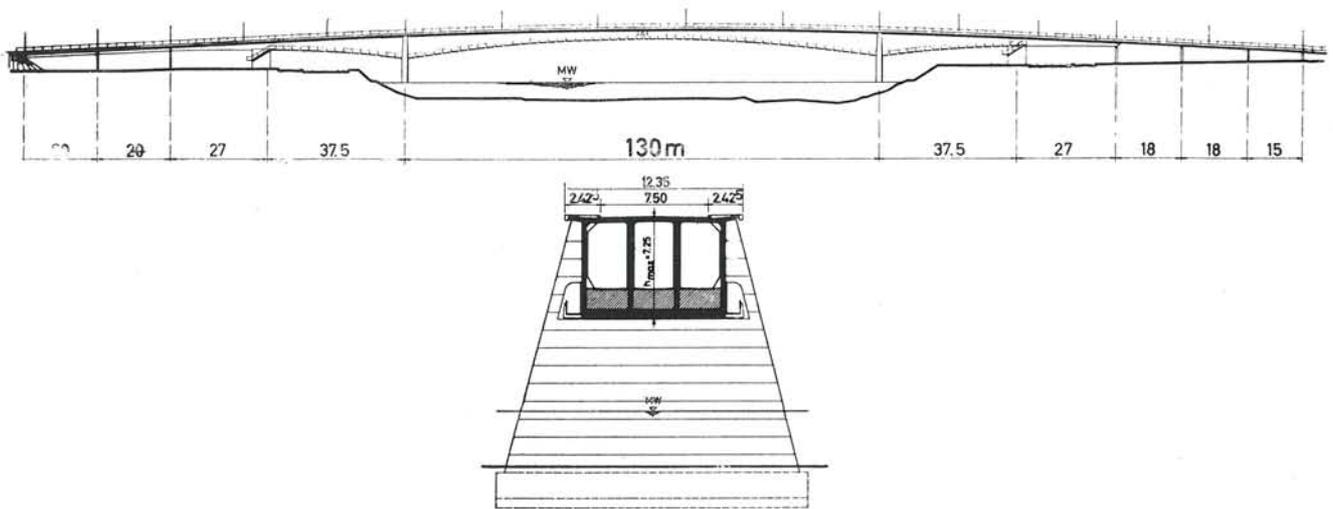
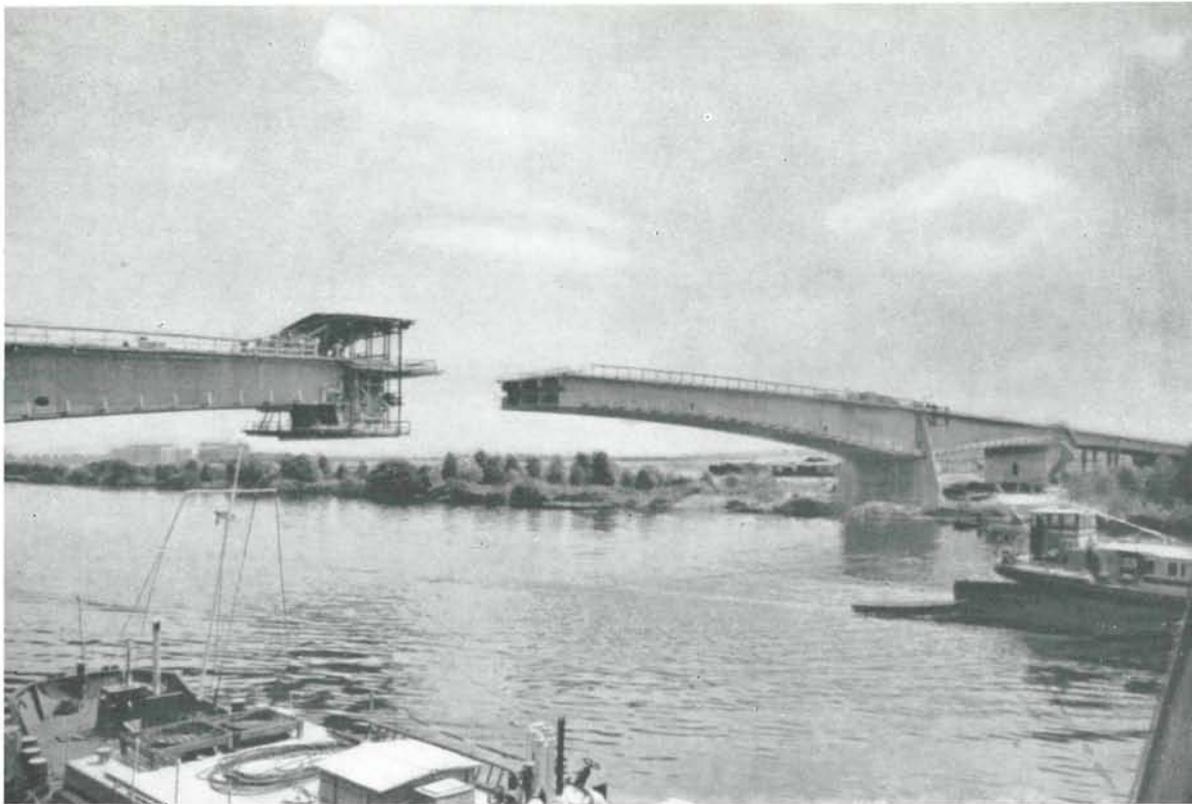


Puente Ranzan (Japón).
Sistema Dywidag, 1958.



Estos últimos constituyen un conjunto notable por la diversidad de tipos y la magnitud de las realizaciones. Hay vanos del sistema de elementos T enlazados por articulaciones de libre deslizamiento, siendo el más importante el de Savines, con once vanos de 77 m y dos laterales de la mitad de luz. Le sigue el de Villemur, con vanos de menor luz, y el de Riou Bourdou, con $47,1 + 2 + 63,5 + 51,55$. El de mayor luz del conjunto es el de La Grande Côte, con un solo tramo de 107 m, formado por dos voladizos con articulación posterior empotrados en fuertes estribos. Existe, por último, el puente de La Reallon, con un solo voladizo de 48,50 m, empotrado en fuerte estribo, situado en la margen que tenía terreno firme, aunque se añadió después un segundo estribo en la margen contigua, de dudosa firmeza, para absorber acciones de la sobrecarga.

(Continuará)

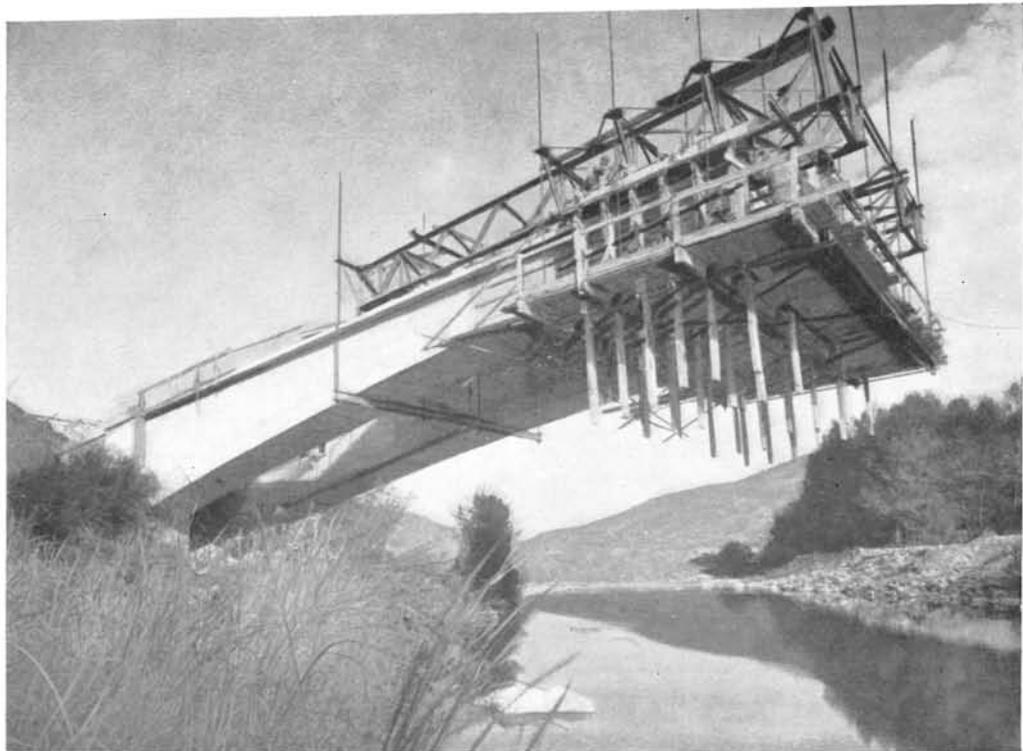


Puente de la fábrica Hoechst sobre el Main, en Francfort-Hoechst.

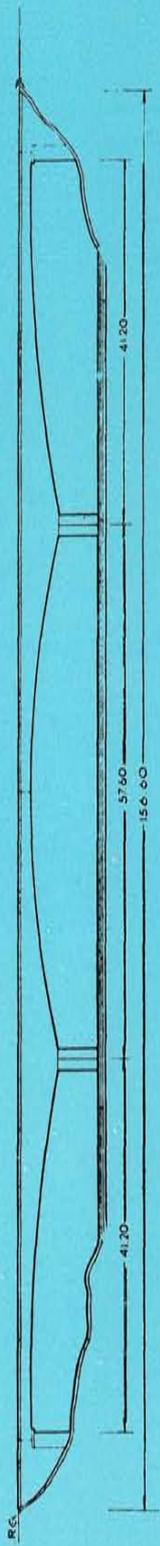
Sistema Dywidag, 1962.



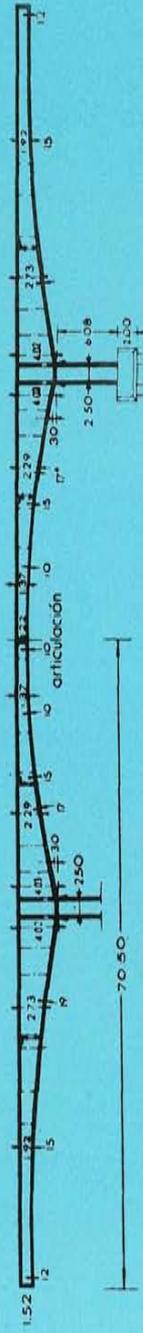
Puente de Beaucaire sobre el Ródano.



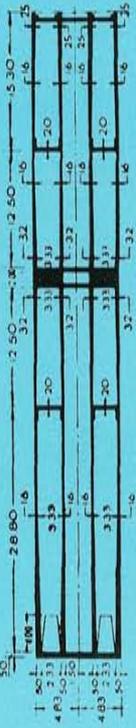
Puente de Ponte Nuovo.
(Córcega).



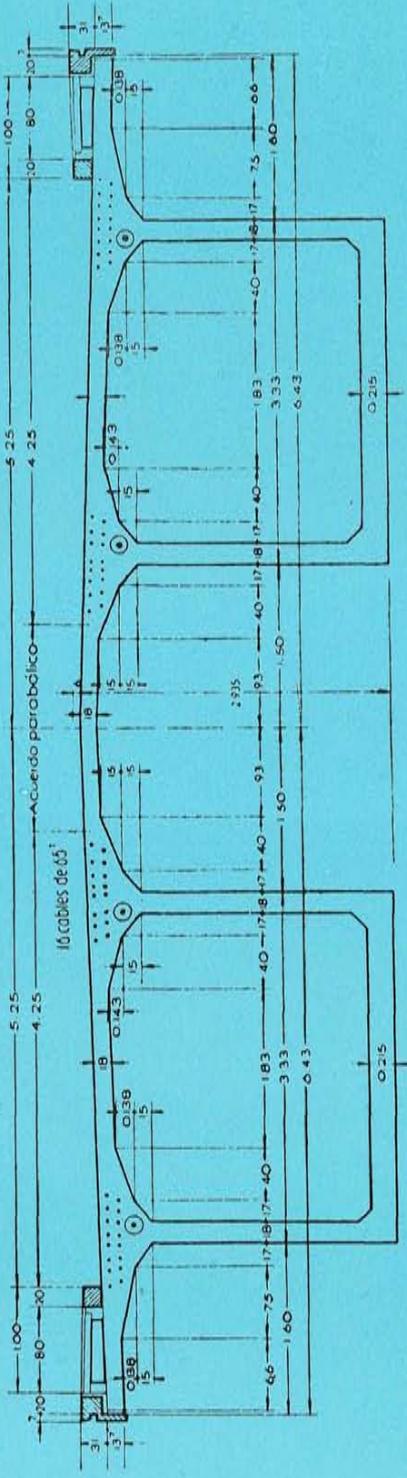
SEMI-SECCIÓN LONGITUDINAL



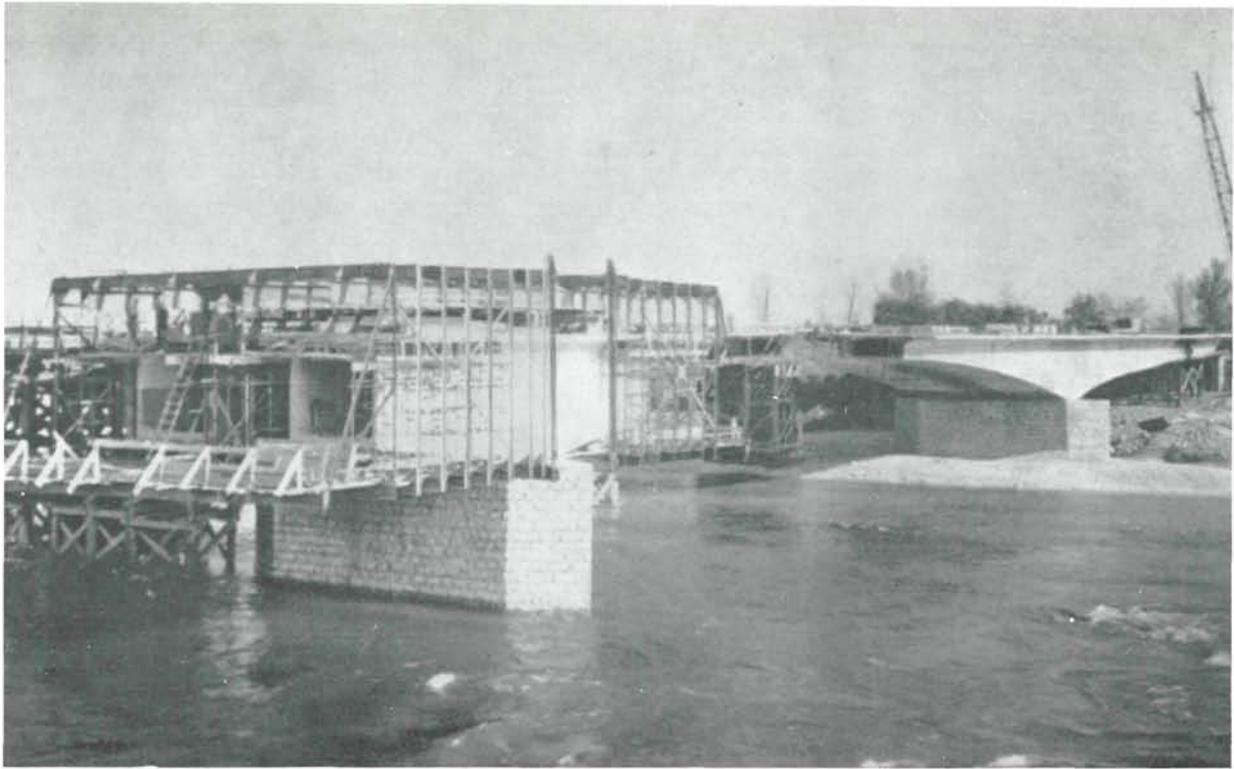
PLANTA



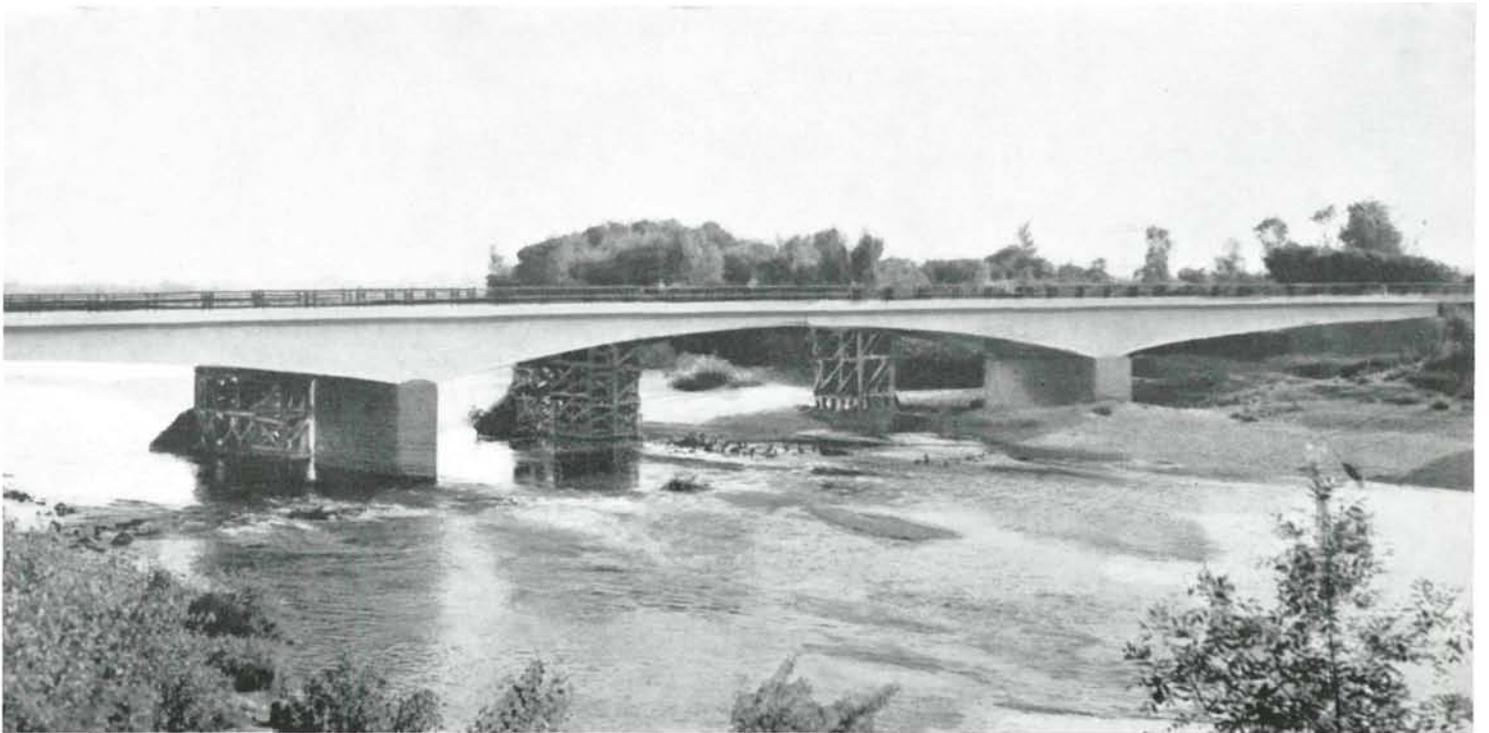
SECCIÓN TRANSVERSAL POR APOYOS CENTRALES

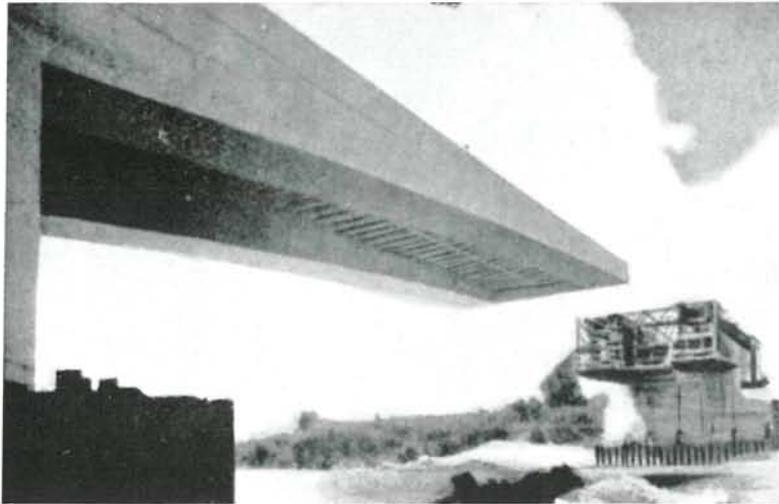


Puente de Chazey sobre el Ain.
S. G. T. M., 1956.



Puente de Chazey sobre el Ain.
Longitud total, 140 metros.
Grands Travaux de Marseille.





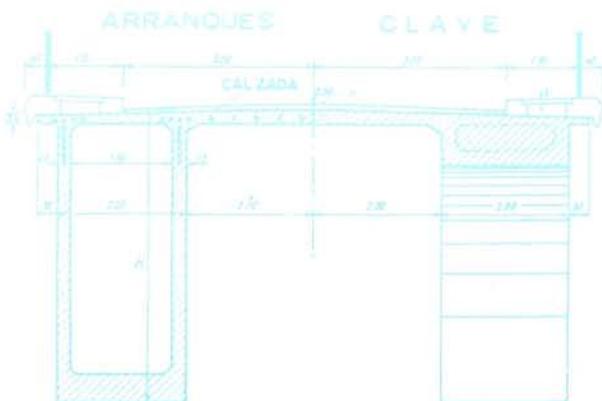
Puente sobre el Golo, en Córcega.
S. G. T. M.

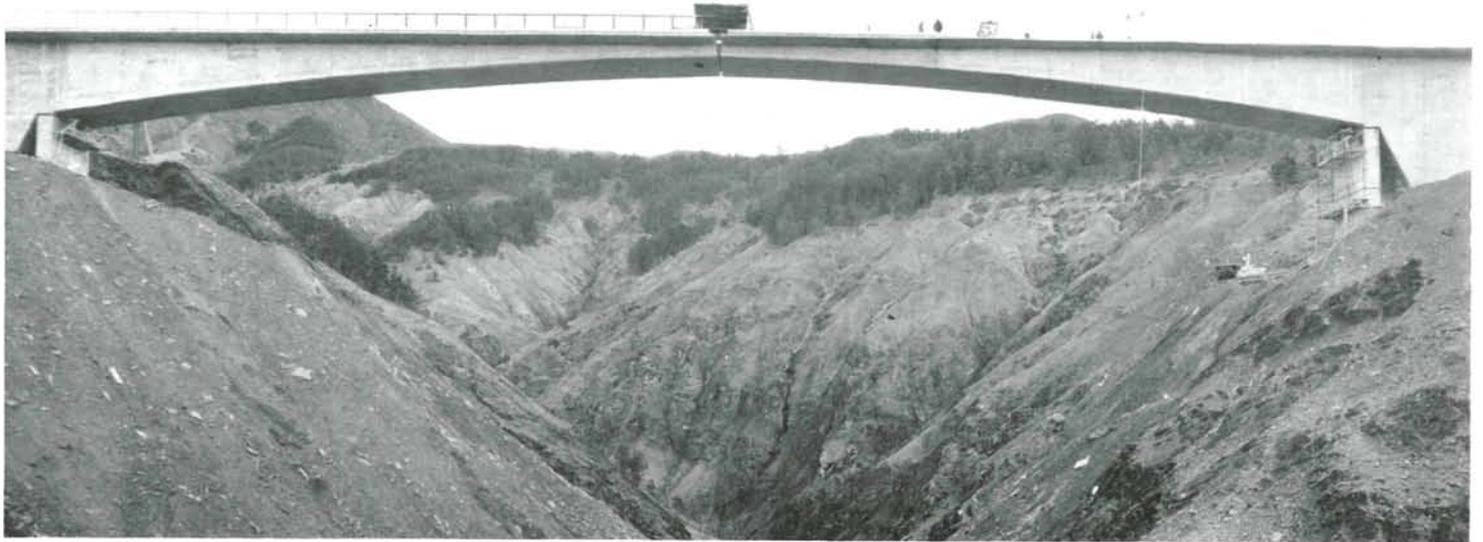
Vista durante la construcción por
voladizos sucesivos.

SEMISECCIÓN LONGITUDINAL

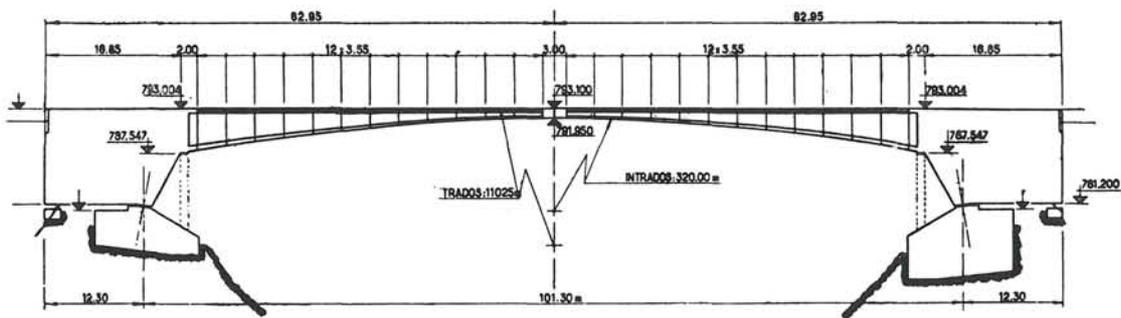


SEMISECCIONES TRANSVERSALES

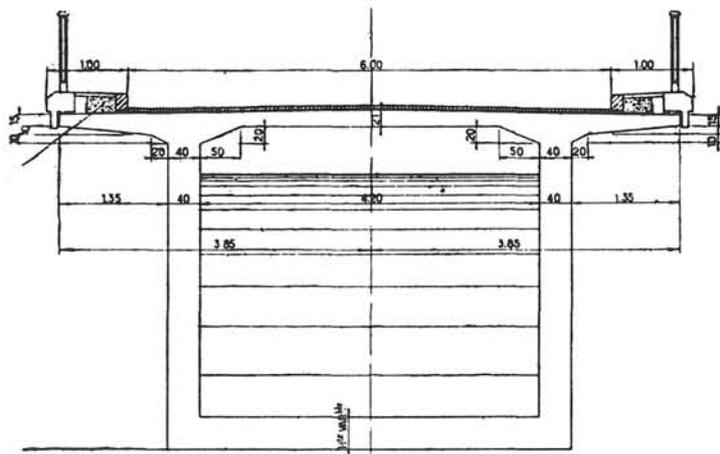




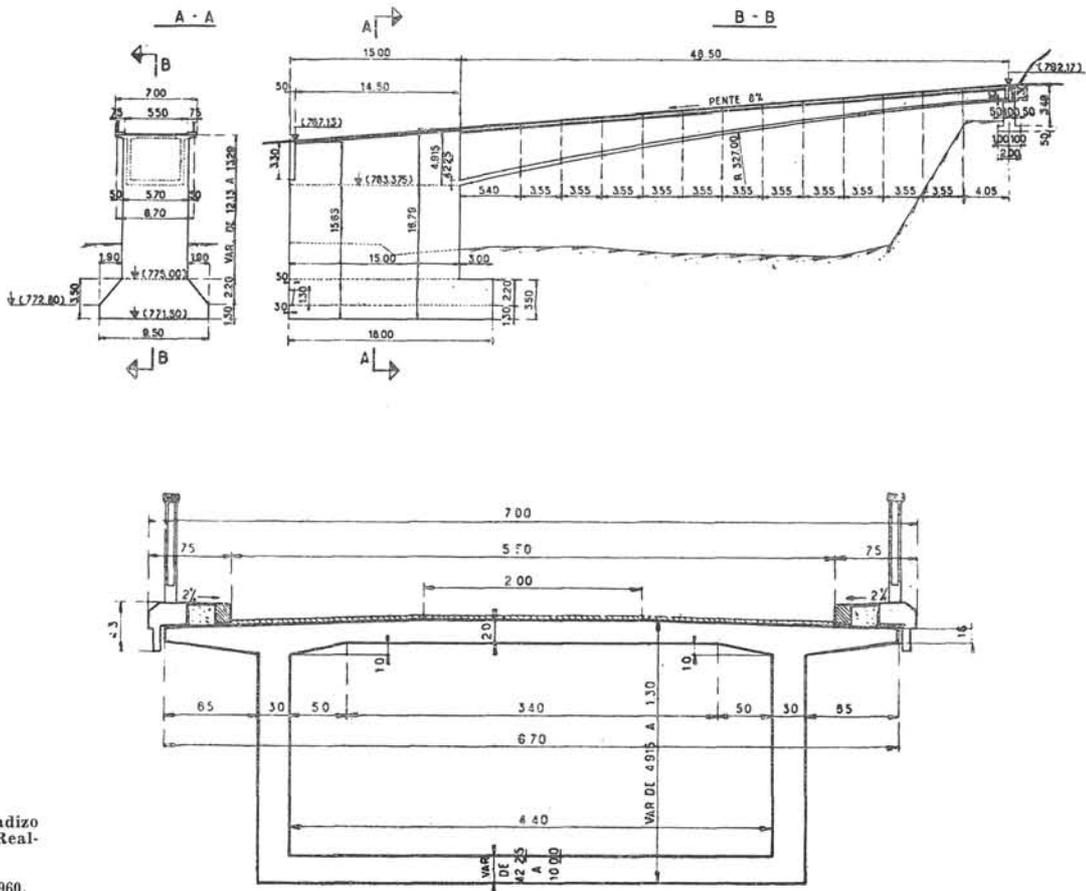
SECCION LONGITUDINAL



SECCION TRANSVERSAL



Puente de la Grande Côte.
S. G. T. M., 1960.



Puente de voladizo único, de la Real-lon.
S. G. T. M., 1960.

Exécution de ponts précontraints par encorbellements successifs

C. Fernández Casado, ingénieur des Ponts et Chaussées.

Le système de construction par encorbellements successifs a permis d'accroître, d'une façon extraordinaire, les portées des ponts de section droite en béton précontraint. On procède actuellement à la construction du pont de Bendorf dont le tronçon central est de 258 m.

Ce système fut utilisé pour la première fois au Brésil pour la construction d'un pont en béton armé normal sur la Peixe, puis tomba en désuétude—sauf pour quelques cas très rares—jusqu'à ce qu'il fut remis au point, vingt ans plus tard, par Firsterwalder pour le pont en béton précontraint sur le Neckar. Grâce à cette nouvelle technique on arrivait à tirer profit de tous les avantages du système unis à une grande rapidité de construction.

Ce système constructif conduit directement au type structural en consoles compensées, formant des cellules T qui s'enlacent entre elles par articulation glissante pour former des tronçons de portée double que celle des consoles, mais il peut s'appliquer à presque tous les types: linteau en porte-à-faux (ce fut la première des nouvelles applications), portique d'une seule portée, portique en T, tronçons continus, etc.

La façon typique est d'avancer avec le coffrage ancré et en saillie sur la partie construite, à un rythme de module hebdomadaire d'environ 3,50 m de long. On peut également procéder à l'aide de douelles préfabriquées qui s'appliquent successivement contre celles déjà construites.

Construction of Prestressed Bridges by Successive Cantilevering

C. Fernández Casado, civil engineer.

The system of construction whereby successive extensions of a cantilevered structure are carried out has made it possible to extend, to an extraordinary extent, the free spans of straight section prestressed concrete bridges. At present the Bendorf bridge is being constructed, whose central span is 258 m long.

This system was first used in Brazil, for the construction of an ordinary reinforced concrete bridge over the river Peixe. But the method fell into disuse, except for very few exceptions, until Firsterwalder again brought it up to date 20 years later, when building the Neckar bridge, made of prestressed concrete. With this new technique all the advantages of the system could be exploited, as well as achieving a very rapid construction.

This constructional procedure leads directly to the structural type known as compensated cantilevers. T shaped cells are attached together by means of prestressing cables to form advancing cantilevers. Thereby a total bridge structure is formed, whose span is twice that of each cantilevered half. This method can be applied to other bridge types, such as dintels with overhanging sections (this was the first new application), single span portal frames, T portal frames, continuous beams, etc.

The typical constructional method is to move the formwork, which is anchored and cantilevered beyond the constructed part. A weekly progress of 3,50 m is normal. It is also possible to employ prefabricated sections, which are successively joined to the ones already in place.

(Owing to the length of this article, it will be published in several successive issues.)

Ausführung vorgespannter Brücken durch aufeinanderfolgende Auskragungen

C. Fernández Casado, Bauingenieur.

Das Bausystem durch aufeinanderfolgende Auskragungen gestattet, die Lichtweiten der Brücken gerader Linienführung aus Spannbeton ausserordentlich zu erweitern. Zur Zeit wird die Brücke von Bendorf mit einem Mittelabschnitt von 258 m erbaut.

Erstmalig wurde dieses in Brasilien zum Bau einer Brücke über den Peixe aus normalem Stahlbeton angewendet, jedoch blieb es dann ausser Gebrauch—abgesehen von ganz wenigen Ausnahmen—bis Firsterwalder 20 Jahre später bei der Brücke über den Neckar aus Spannbeton neuerdings darauf zurückkam. Mit dieser neuen Technik wurden alle Vorteile des Systems, sowie eine grosse Baugeschwindigkeit, erzielt.

Das Bausystem führt direkt zu der Gefügeart der ausgeglichenen Auskragungen, indem T-Zellen gebildet werden, welche untereinander mit einem Gleitgelenk verbunden werden, wodurch mit den Auskragungen Öffnungen mit doppelter Lichtweite gebildet werden. Jedoch kann man dies auf fast alle übrigen Arten anwenden: Oberschwellen mit Auskragung (was die erste neue Anwendung war), Rahmen mit einer einzigen Öffnung, T-Rahmen, durchgehende Felder, u. s. w.

Die typische Bauweise ist, mit der Schalung, welche verankert wird und über den erbauten Teil vorkragt, fortzuschreiten, indem man einen wöchentlichen Modul-Rhythmus von etwa 3,50 m Länge einhält; man kann aber auch mit vorgefertigten Balkenstücken vorgehen, welche nach und nach an die bereits eingebauten angefügt werden.

(Wegen des Umfangs dieses Artikels wird er in mehreren aufeinanderfolgenden Nummern veröffentlicht werden.)