

562 - 75

ejecución de puentes pretensados por voladizos sucesivos

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.

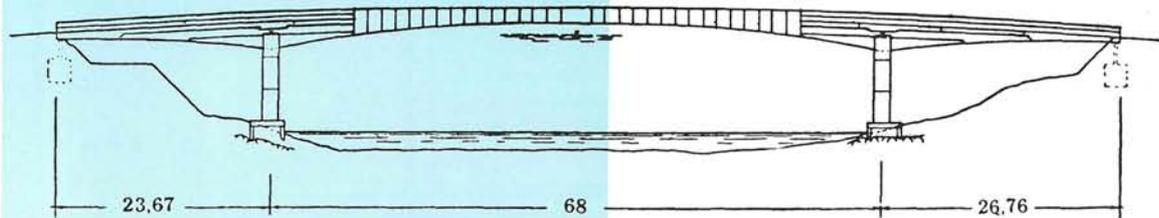
El modo típico es avanzar con el encofrado que se ancla y vuela sobre la parte construida, llevando un ritmo de módulo semanal de unos 3,50 m de longitud, pero también puede procederse por dovelas prefabricadas que van aplicándose sucesivamente contra las ya construidas.

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

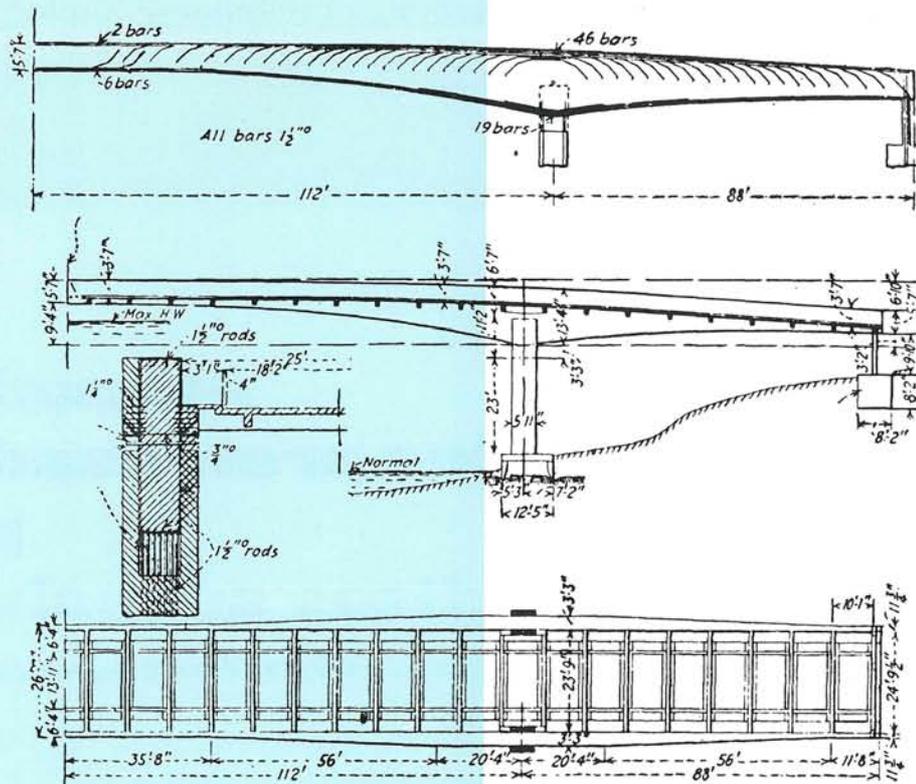


Puente de Santa Catalina sobre el río Peixe (Brasil), 1931.
Primer puente construido.

SISTEMA DE JUNTAS



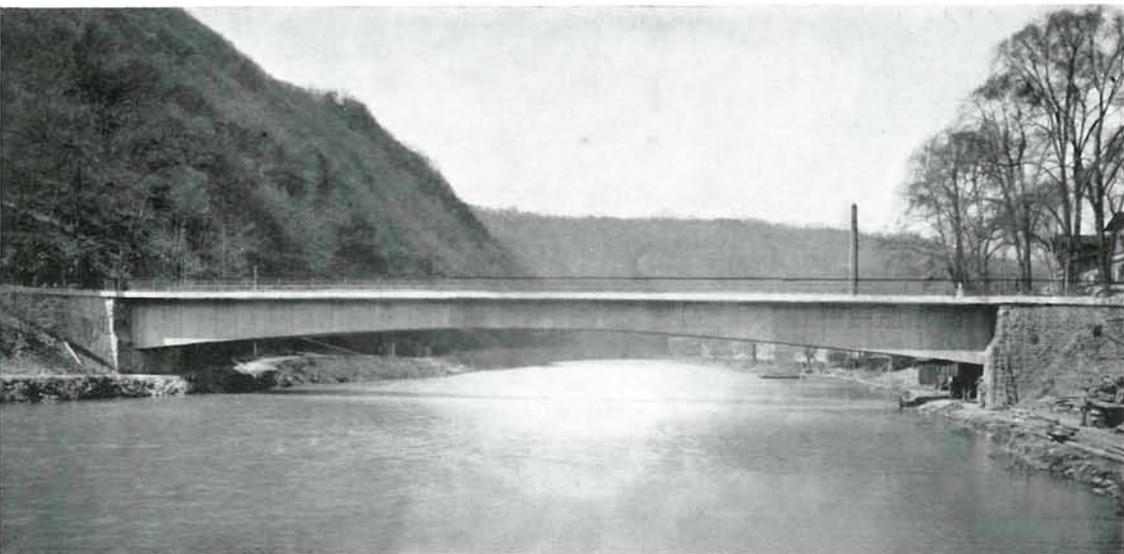
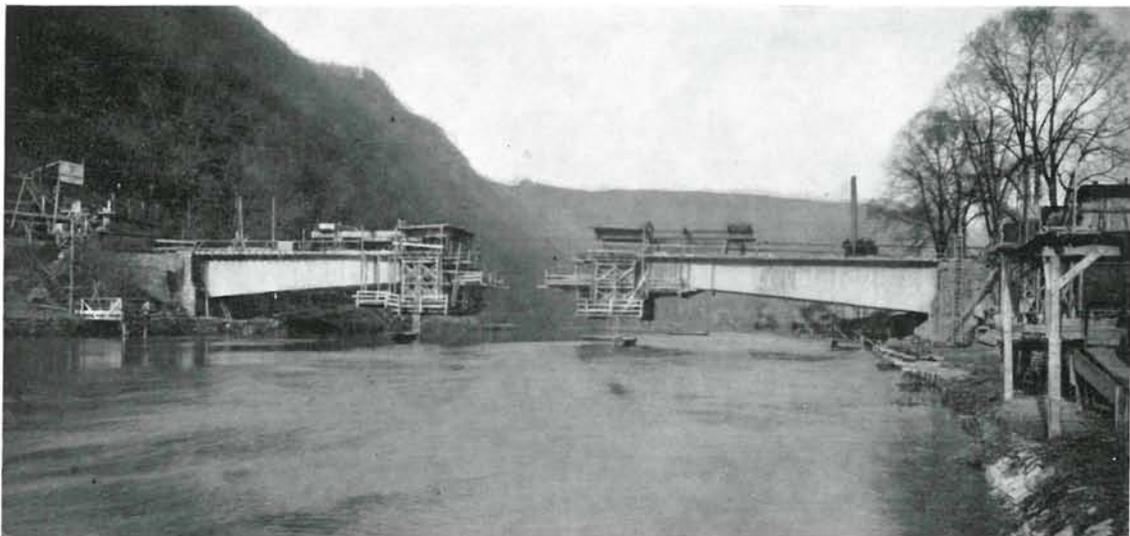
DETALLES



El procedimiento de ejecución de dinteles por voladizos sucesivos, fundamental en la construcción de puentes de gran luz y que, actualmente, parece genuino del hormigón pretensado, procede de los puentes de hormigón armado normal. La primera aplicación por el ingeniero brasileño Emilio Braumgart dio lugar a uno de los ejemplares de máxima categoría en la historia de los puentes de tramo recto: el puente de Santa Catalina sobre el río Peixe, en Herval (Brasil). Este puente, construido en 1931, con sus 68 m de luz, tuvo durante varios años el récord de luz en tramos rectos de hormigón armado. Además es uno de los puentes más bellos que se han construido.

Este puente quedó prácticamente aislado, ya que, aunque se utilizó el procedimiento en alguno que otro puente inglés y francés, no llegó a formar serie hasta la aparición del hormigón pretensado. A los veinte años construye Finsterwalder el puente de Balduinstein, sobre el Lahn, que abre marcha en la brillante serie de puentes construidos por la Empresa Dywidag.

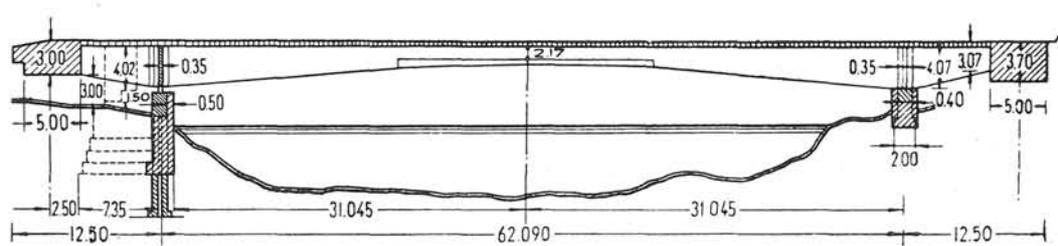
El hormigón pretensado resolvía definitivamente la principal dificultad del sistema, pues anulaba el defecto estructural resultante de la necesidad de establecer juntas de construcción en planos verticales. Las barras en el puente Herval (\varnothing 38 mm) se empalmaban por trozos de 1,50 m de longitud y se disponía además una armadura de redondos de poco diámetro para mejorar el empalme entre trozos, ya que las juntas no van de acuerdo con la distribución de isostáticas. En el pretensado, la armadura superior, además de coser los distintos trozos, intro-



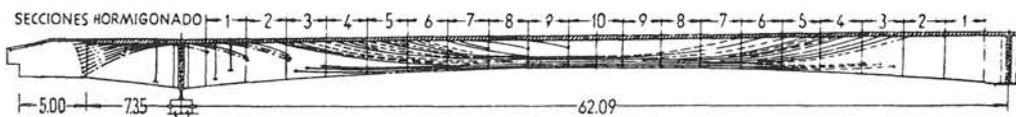
Puente sobre el Lahn, en Balduinstein.
Dywidag, 1952.

Puente Balduinstein.

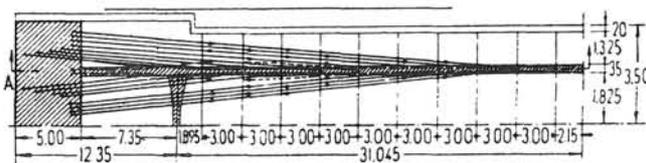
SECCIÓN LONGITUDINAL



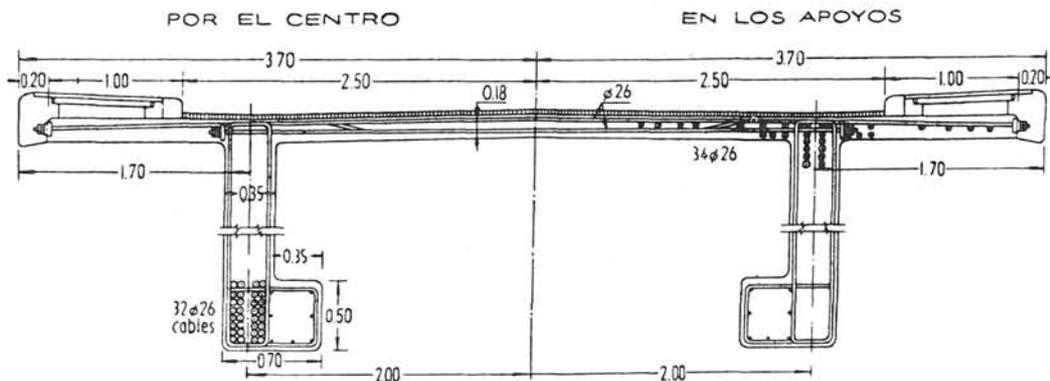
SECCIÓN LONGITUDINAL



SEMIPLANTA
MEDIO PUEBTE



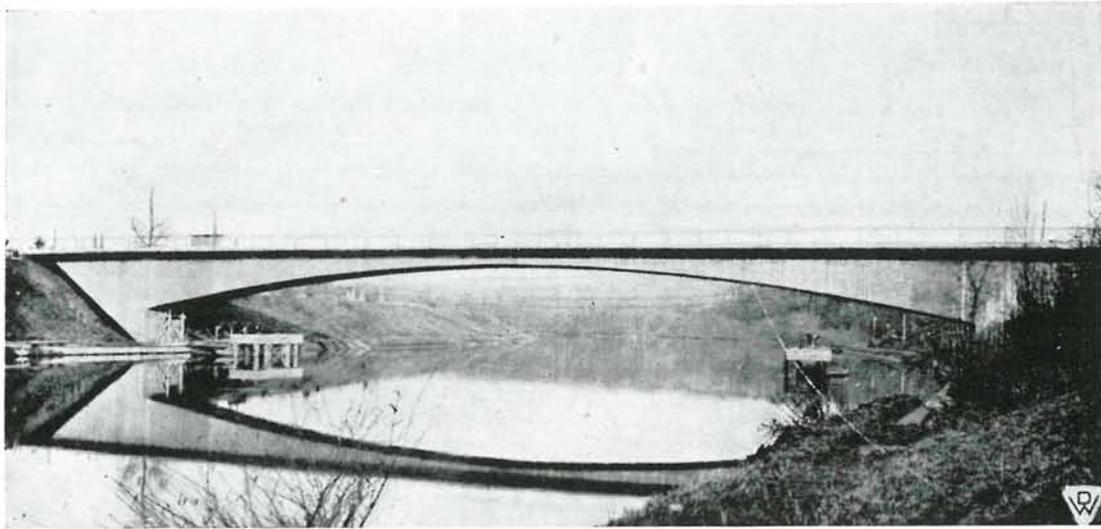
SECCIONES TRANSVERSALES



duce unas acciones complementarias que dan lugar a un estado tensional perfectamente de acuerdo con las juntas verticales.

El sistema de pretensado de Dywidag, con sus barras redondas y sus empalmes de manguito, realiza del modo más sencillo el atado de elementos, anclando en cada dovela el número de barras que sean precisas para pretensarle de modo que tenga aptitud para resistir su propio peso, el del andamiaje que se traslada y el peso propio del elemento siguiente.

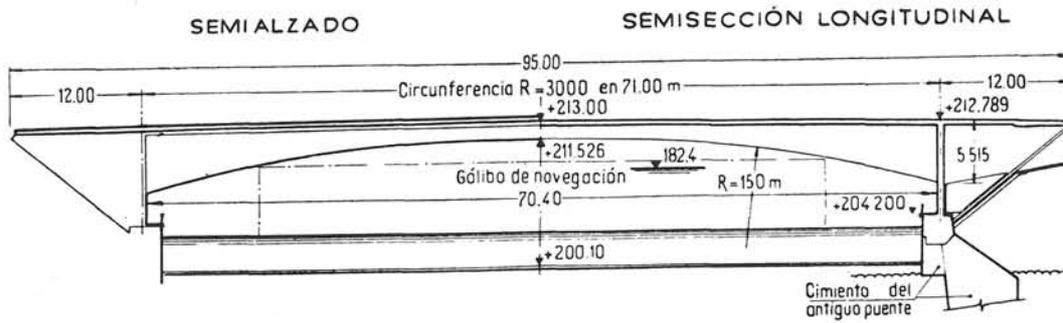
El puente de Balduinstein pertenece al tipo estructural de tramo con voladizos de compensación directa.



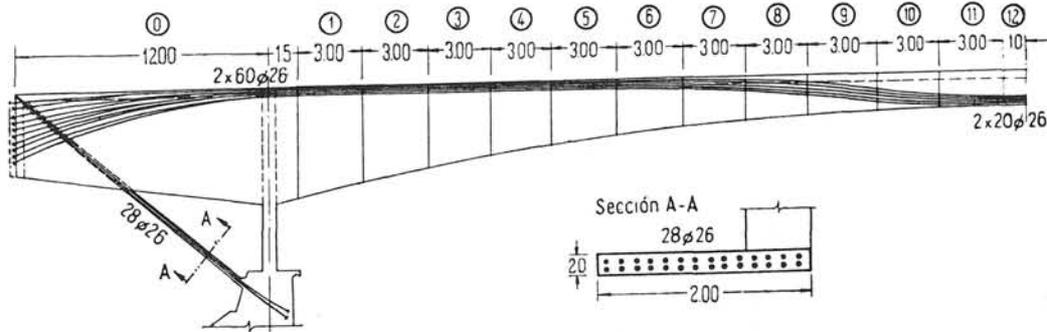
Estos se construyeron sobre andamio normal y además se anclaron para contrapesar los voladizos sucesivos que se iban construyendo simétricamente desde ambos apoyos con longitudes de 3 m y 9 m a cada lado hasta cerrar el vano mediante un bloque central de 5 m. En cada extremidad de bloque se anclan las barras precisas, continuando las restantes para morir unas en los próximos bloques y otras para pasar a la cara inferior, donde son necesarias en zona central.

Este tipo de tramo con voladizos en el que se puso a punto el sistema constructivo quedó fuera de uso, pues en seguida llegó Finsterwalder a descubrir un nuevo tipo de puente que es genuino del hormigón pretensado y que resulta intermedio entre el tramo con voladizos y el pórtico sencillo. Nos referimos al dintel con células triangulares extremas, en el cual los triángulos son rectángulos con catetos verticales, limitando el vano, e hipotenusas enlazando los cimientos a las extremidades en voladizo del dintel. Al pretensar estas barras inclinadas introducimos, con un pretensado longitudinal, en dintel, dos fuerzas verticales en sus extremidades que nos regulan la compensación del vano central en las proporciones que queramos, sin necesidad de prolongar excesivamente los voladizos (gran defecto en los de compen-

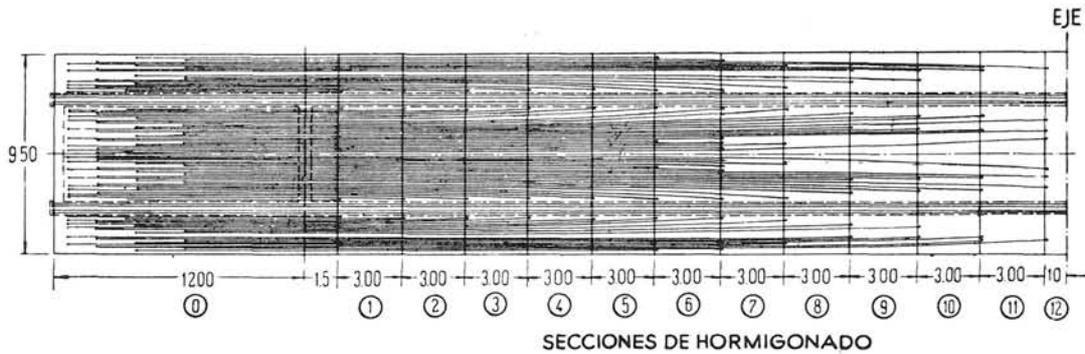
Puente sobre el Neckar, en Neckarrems.



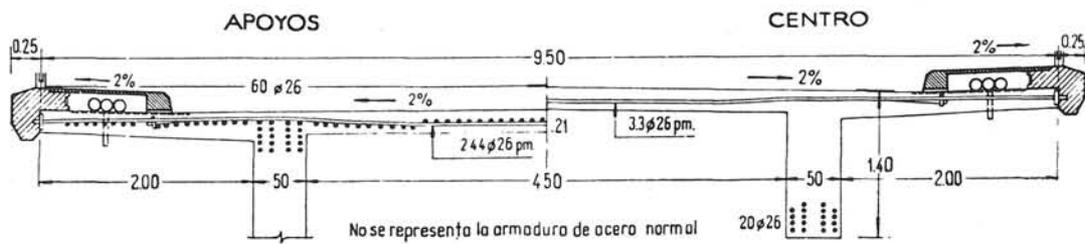
SEMISECCIÓN LONGITUDINAL



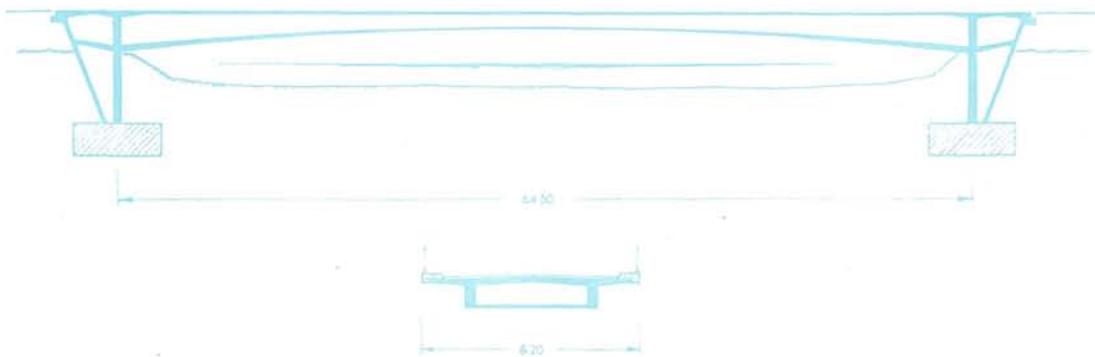
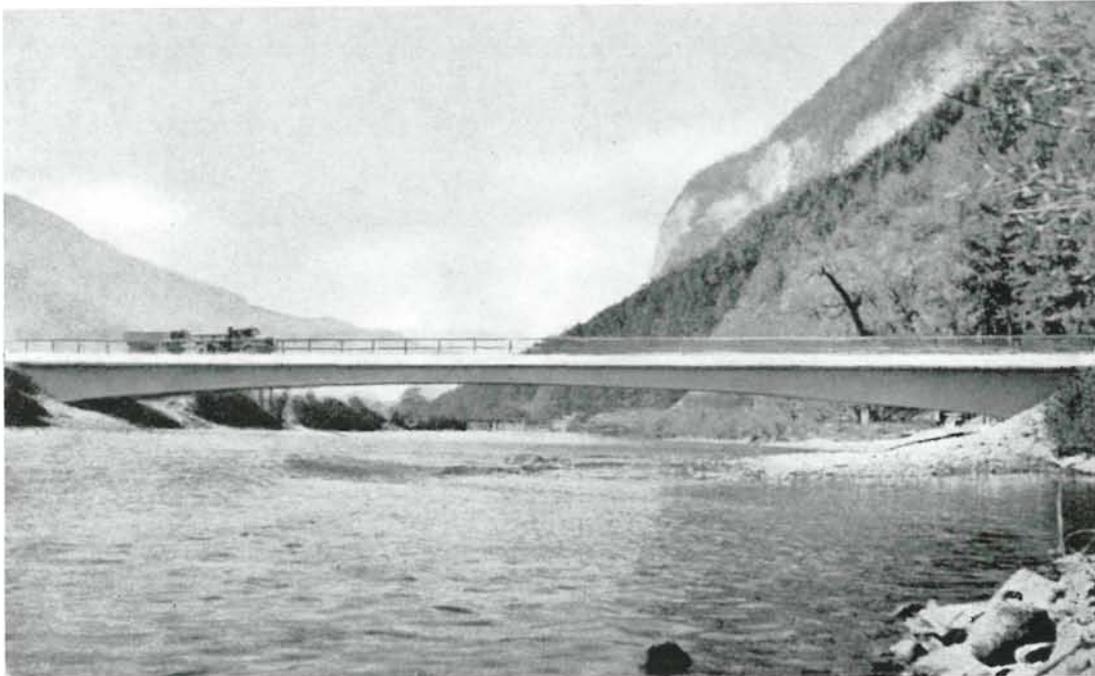
PLANTA



SEMISECCIONES TRANSVERSALES

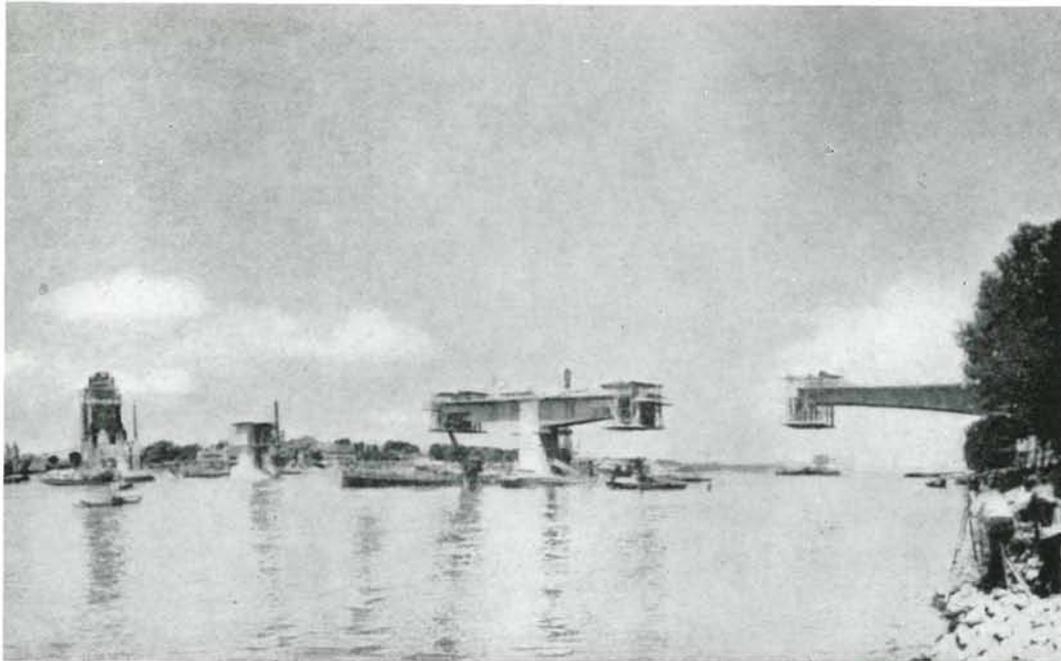


Puente sobre el río Mur, en Teufenbach (Austria).
Dywidag, 1959.



sación directa). Además, como estas piezas inclinadas son de hormigón pretensado funcionan como tornapuntas, recibiendo las extremidades del dintel, las cuales quedan como simplemente apoyadas al paso de la sobrecarga. Por último, dada la poca rigidez de las dos piezas del apoyo, la vertical resistiendo simplemente a compresión y la inclinada que es un tirante pretensado, los asientos de los apoyos no le afectan, ya que pueden considerarse articulaciones en cimientos, y las variaciones de temperatura dan sólo un pequeño corrimiento normal de las extremidades del dintel respecto a los puntos de apoyo intermedios

Como ya hemos dicho, este nuevo tipo resulta intermedio entre el tramo con voladizos, al que se le añade una péndola inclinada, y el pórtico simple triarticulado, cuyos pilares de perfil triangular se descompusieron en célula triangular con un cordón vertical de compresión y otro inclinado de tracciones. Según las proporciones de altura sobre cimiento respecto a prolongación de dintel y las secciones relativas a los elementos, encajamos los diferentes ejemplares en uno o en otro tipo.



Puente de los Nibelungos
sobre el Rin, en Worms.

Así, por ejemplo, consideramos en tramo compensado el puente de Neckarrems, sobre el Neckar, que se construyó a poco intervalo con el anterior para salvar una luz ligeramente superior 70,40 m, prolongado el dintel en voladizos de 12 m sin utilización funcional. El canto de la viga sobre apoyos es de 5,51 m, y la altura de rasante sobre cimiento en esa misma sección 8,60 m, con lo cual no puede considerarse la existencia de un pilar. En este puente se avanzó también por voladizos de 3 m en once bloques por cada lado cerrando mediante uno central de 2 metros.

La mejora de la solución se advierte inmediatamente en el aspecto de ambos puentes, que en condiciones análogas de rasante, luz y sobrecarga, muestran una esbeltez completamente distinta, lo que se comprueba al analizar el canto en el centro, 2,17 m en el primero y 1,40 m en el segundo, y la armadura casi constante, 34 m y 32 m en el primero y 120 m y 40 m en el segundo, para apoyos y centro, respectivamente.

Por el contrario, consideramos netamente pórico sencillo el puente Föhrer, en Berlín, que se construyó también en los primeros tiempos con 72 m de luz, 8 m de voladizos y altura de rasante sobre cimientos de 10,60 m. De este tipo se siguieron construyendo puentes, entre los cuales el de Lombardo, en Hamburgo, el de Dischinger, en Berlín, que fue con 94 m el récord de luz en el tipo, el de Teufenbach, en Austria, 64,50 m, etc.

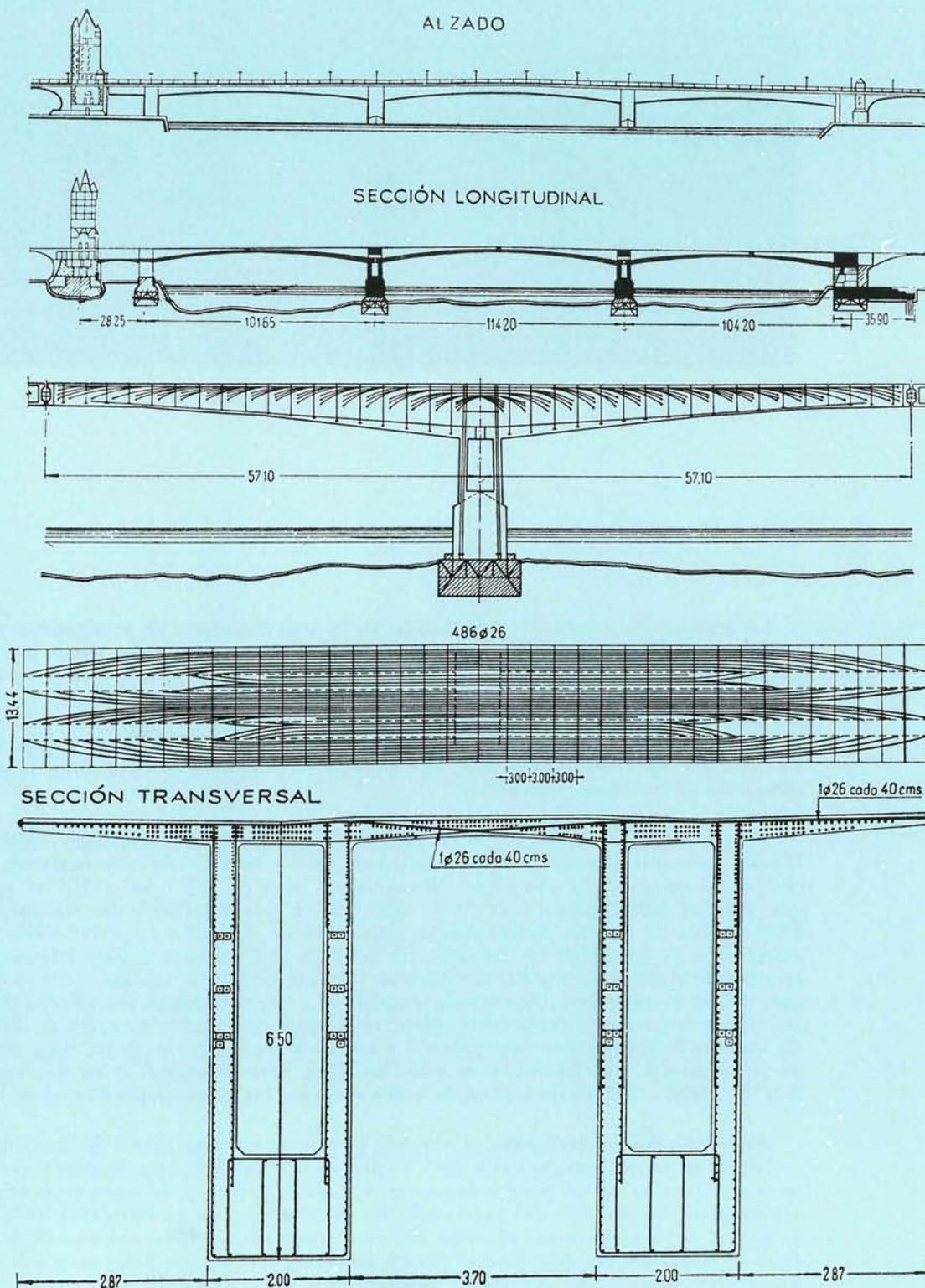
En los dos tipos anteriores el dintel queda monolítico y la armadura pasa desde la cabeza superior



Puente de los Nibelungos sobre el Rin, en Worms.
Dywidag, 1952.

Vuelos: 57,10 metros.

sobre apoyos a la inferior en zona central, habiendo zonas donde existen armaduras en las dos cabezas, lo cual es de mal rendimiento en pretensado por la pequeña excentricidad del cable virtual resultante. Esto es consecuencia de no existir coincidencia de modos de trabajar la estructura, en construcción y en servicio.



Puente de los Nibelungos sobre el Rin, en Worms.
Dywidag, 1962.

Puente sobre el Mosela, en Coblenza.



La armonía de condiciones de trabajo en la fase transitoria de construcción y en la definitiva de servicio es completa en el otro tipo de estructura que se ha puesto a punto en hormigón pretensado, aunque no sea genuino de este material y es el de los pares de ménsulas directamente contrapesadas. De este tipo de estructura existen en hormigón armado normal algunos puentes construidos en Estados Unidos hacia el año 1925 (Rouge River y Wayne Caguty) que completan vanos de unos 30 m mediante tramos en T con dobles voladizos de 15. También en Noruega tenemos algo análogo en puentes de medios arcos, formando arcos completos en los vanos intermedios.

El primer puente de este tipo en pretensado fue el de los Nibelungos sobre el Rin, en Worms, que sustituye un puente metálico de arcos destruido durante la guerra. Se aprovecharon los antiguos cimientos que determinaban luces de $101 + 114 + 104$ m, aunque hubo que reforzar notablemente uno de los laterales, ya que la ménsula del semivano correspondiente había de quedar perfectamente empotrada en el estribo correspondiente. En la otra extremidad la necesidad de habilitar un vano de 28,25 m para el paso inferior de la carretera marginal del Rin, permitía disponer un voladizo de altura constante relleno de hormigón para forzar el contrapeso. Avanzando simultánea y simétricamente por volados de 3 m desde las pilas intermedias y desde los estribos, se terminó este puente en enero de 1952, y es uno de los más bellos que hoy día existen. La variación de canto en dintel llega desde 2,50 m en el centro del vano hasta 6,50 m sobre las pilas. Están organizadas en dos vigas cajón de 2 m de ancho a 5,70 m de separación entre ejes para un ancho de plataforma de 13,44 metros.

En el año 1954 se terminaba el segundo puente de este tipo récord de luz ($101,47 + 113,90 + 122,85$ m) en pretensado hasta 1961, el del Mosela en Coblenza. También correspondía a la reconstrucción de un puente destruido durante la guerra, y así como el de los Nibelungos representaba la invasión del pretensado en los dominios de la estructura metálica, éste de Coblenza representó la introducción del pretensado en el terreno indeciso entre arcos y dinteles de hormigón armado, pues el puente anterior era el puente de arcos de este material con *mayor atrevimiento* por sus luces y rebajamientos de 1/10 a 1/12.

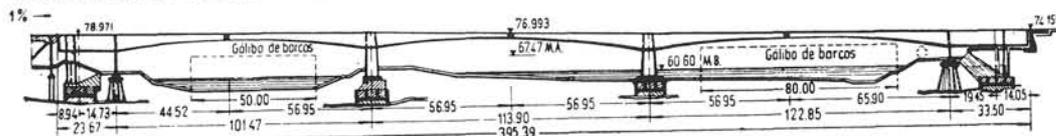
El voladizo mayor de 65,90 exigió 21 avances de 3 m, voladizo que estaba contrapesado por otro de 33,50 sin utilización funcional, anclado a un cimiento especial. El voladizo de la otra extremidad tenía 44,52 m y se compensaba con otro de 21,67 también encerrado entre muros. Como en el anterior, el dintel se organiza en dos vigas-cajón de 3,50 m de anchura a 9,00 m de separación entre ejes. El ancho total de plataforma es de 20,40 metros.

(Continuará.)

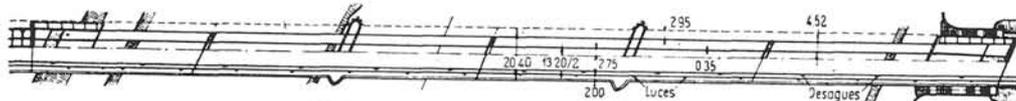
ALZADO



SECCIÓN LONGITUDINAL

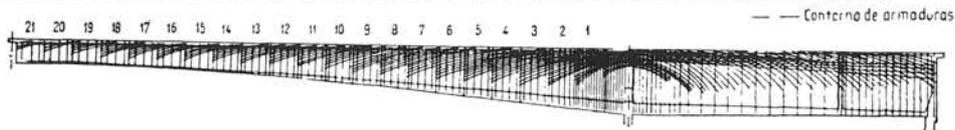
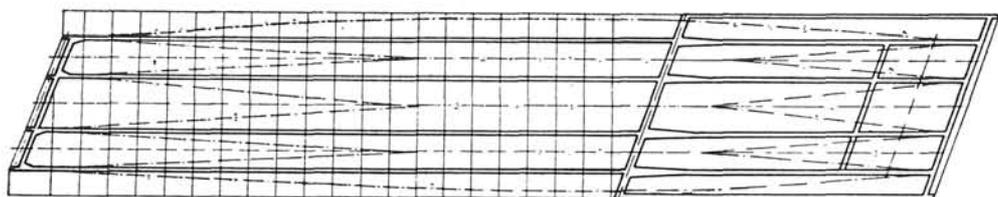


SEMICORTE EN PLANTA

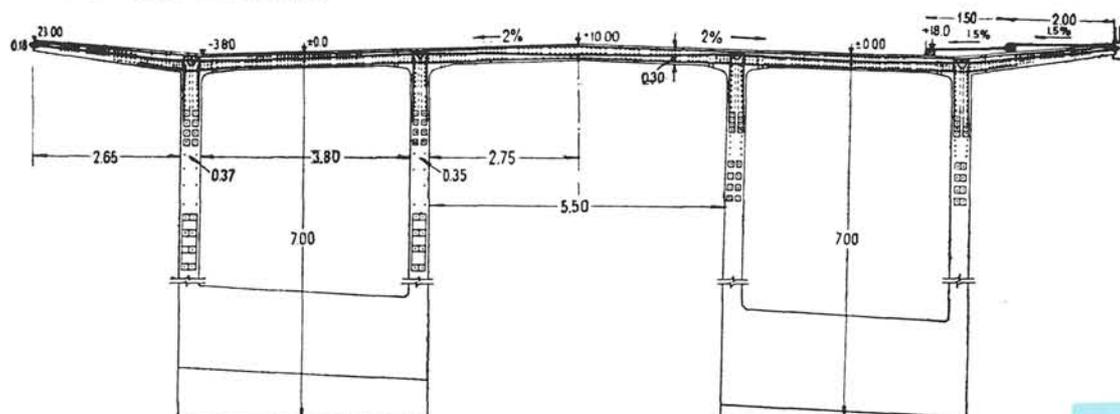


SEMIPROYECCIÓN HORIZONTAL

PLANTA Y SECCIÓN DE VIGAS



SECCIÓN TRANSVERSAL



Puente sobre el Mosela, en Coblenza.
Dywidag, 1954.

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—juqu'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 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 hat erlaubt, 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.

Erstmals 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 Umfanges dieses Artikels wird er in mehreren aufeinanderfolgenden Nummern veröffentlicht werden.)