

# LOS PUENTES DE FABRICA DURANTE EL AÑO 1966

Por CARLOS FERNANDEZ CASADO  
Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos

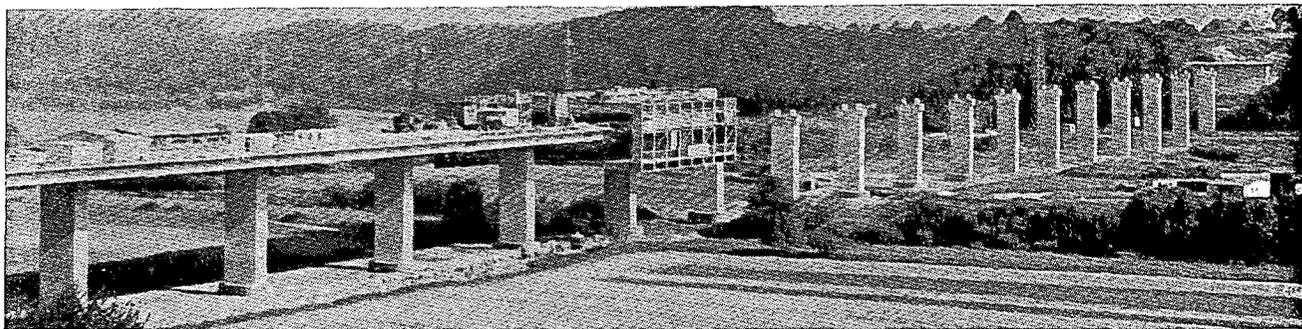
*Con las presentes páginas publicamos el final de este importante artículo que se comenzó en el número anterior, del cual, por su extensión, se hicieron dos partes.*

## **Puentes ejecutados con cimbra lanzada que avanza con el encofrado.**

El puente más importante realizado sobre fila única de pilares con cimbra total por vano, avanzando por tramos completos y únicamente sobre las pilas, es el de Lennental, construido por Dywidag continuando la técnica iniciada en Elztal. Tiene veintiún vanos de 45,50 m. más uno final de 36,50 m., sobre pilas rectangulares huecas de  $5,35 \times 3,00$ , y latitud total de 31,75. Dado el aumento de luz relativamente a los anteriores, se ha abandonado la solución de losa maciza, adoptando un tablero de seis vigas con altura constante de 1,85. Se hormigona cada vez la longitud de un vano, pero desplazada en un cuarto de la misma después del segundo pilar. Las juntas de construcción se transforman definitivamente en juntas de dilatación cada dos secciones hormigonadas. El tiempo invertido en

la ejecución de una de estas secciones ha sido de catorce días, para lo cual la cimbra y los paneles de encofrado que de ella cuelgan, funcionan con la exactitud y rapidez de una verdadera máquina.

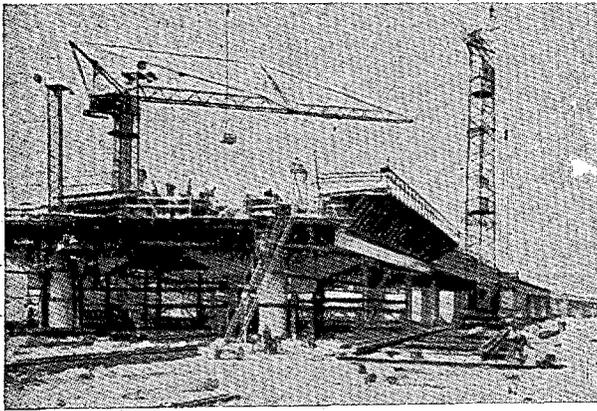
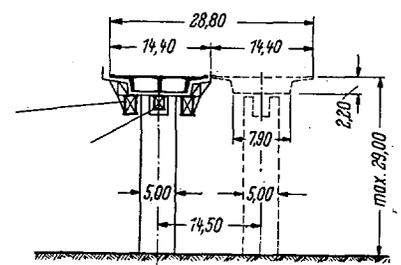
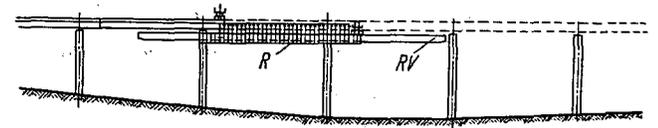
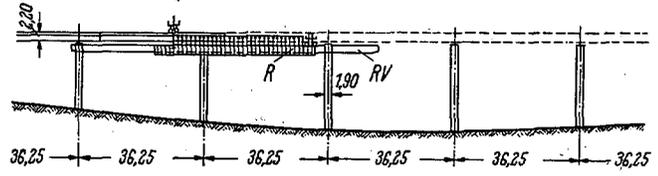
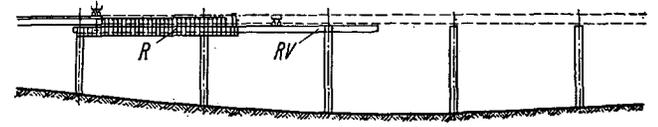
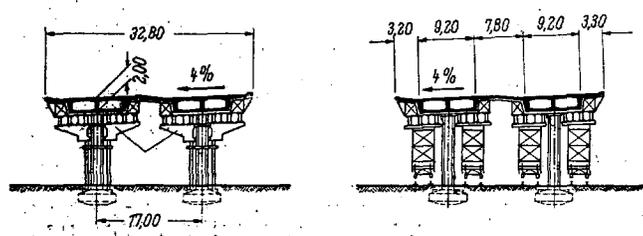
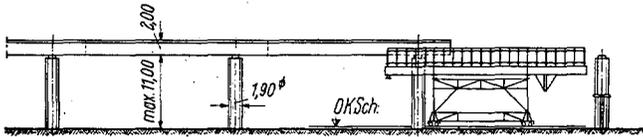
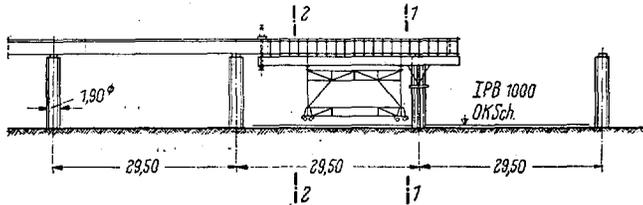
Este preciso mecanismo de cimbra y encofrado, aunque se ha empleado para la ejecución de 22 vanos con una superficie de 30 000 metros cuadrados, no puede amortizarse en una sola obra, pues queda intacto para su utilización sucesiva, justificándose la inversión que representa únicamente con la repetición de obras análogas, es decir, con una posible sistematización de los viaductos de autopistas. En la actualidad, están en ejecución por la misma empresa Dywidag, otros viaductos para autopistas, con este sistema, entre los cuales, dos en Bremen, uno entre Schönberg y Mattrei en la autopista del Brenher y el puente Pachsberg en Innsbruck.



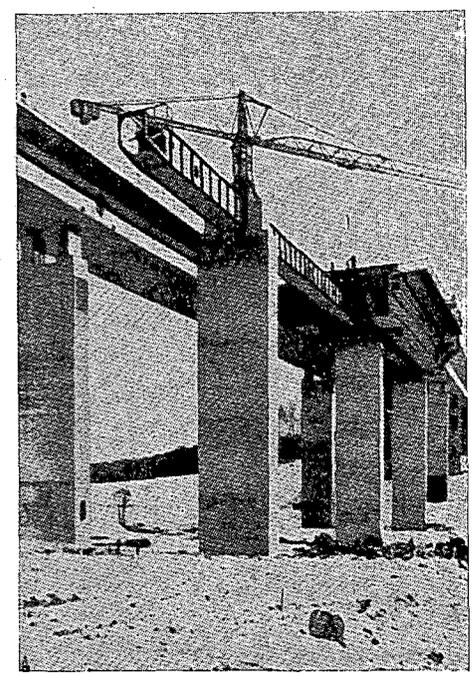
Puente de Lennental, Dywidag.

# Puentes Constructidos con Cimbra Deslizante

POLLENSKY & ZOLLNER



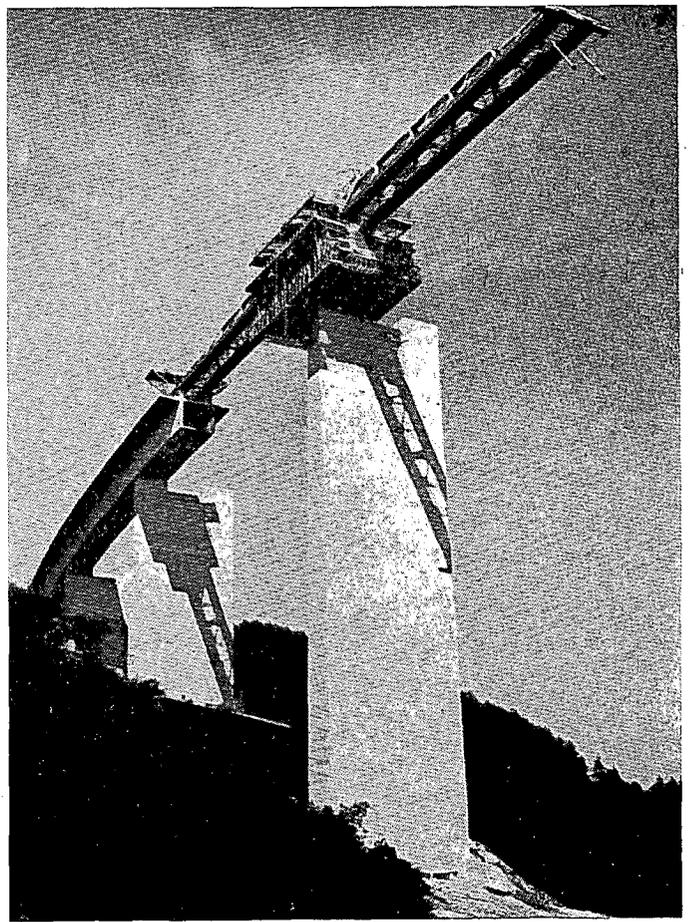
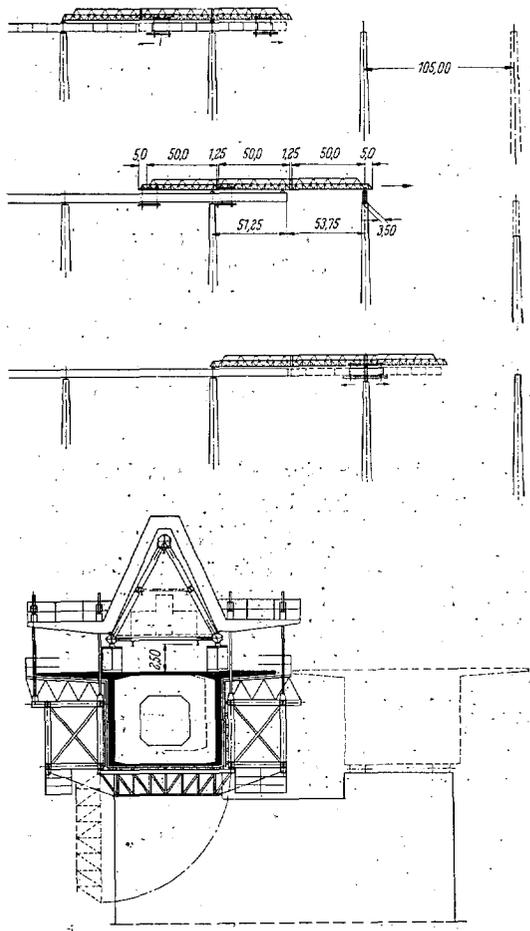
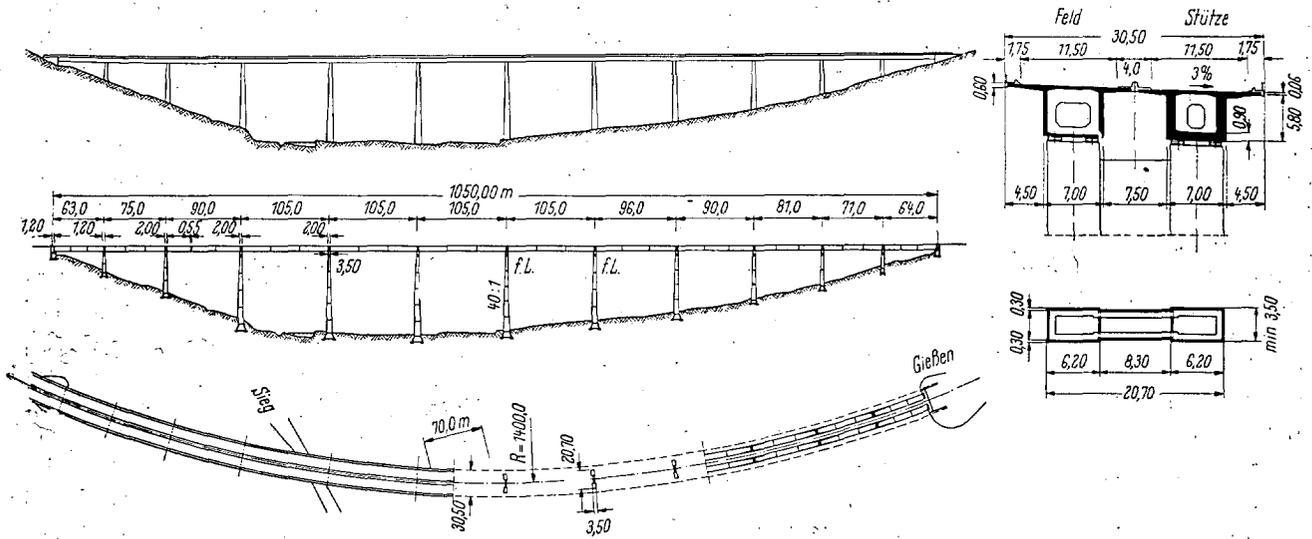
Viaducto de Leverkusen.



Viaducto de Pleibach.

# VIADUCTO DE EISERFELD SOBRE EL SIEGTAL

POLLENSKY & ZOLLNER



Sistema constructivo análogo es el utilizado por la empresa Pollensky & Zöllner, aunque en éste se trata de vigas cajón y las cimbras que avanzan por tramos completos suelen ir por debajo del dintel.

Se empleó por primera vez en el viaducto de Krahanenberg (1964) con cimbras formadas por cuatro jácenas, dos debajo del cajón y dos debajo de los vuelos; las primeras estaban enlazadas entre sí, formando unidad completa que era autolanzable; las otras dos corrían apoyadas sobre ésta unidad ya lanzada. Las pilas eran dobles columnas y entre ellas se atravesaban vigas transversales para soportar los cuatro elementos longitudinales. El avance se hacía también rebasando el pilar en el cuarto de la luz del vano, teniendo los elementos articulados en planta, para poder adaptarse a la curvatura de la alineación. Este puente tiene una longitud de 1 080 m., con vanos de 31,75 m. de luz.

En el pasado año han construido el viaducto de Leverkusen, con 930 m. de longitud; el de Pleibach, en la autopista de Fúlda-Würzburg. Pero el más importante actualmente en construcción es el de Siegtal, en Eiserfeld, con 1 050 metros de longitud y doce vanos con luces desde 105 a 63 m. y alturas llegando a los 100 metros. En este caso, la cimbra está constituida por un tramo en organización transversal triangular que va por encima del dintel, pero el encofrado no es total, sino de dos secciones del décimo de la longitud del vano, y el dintel se va construyendo por dovelas voladas en simetría a partir de los pilares y que van quedando libres una vez construidas. Creemos que esta combinación de cimbra total desplazable y encofrado parcial, pierde ventajas del procedimiento puro y no mejora el sistema de ejecución por voladizos sucesivos que ya hemos descrito.

En España, que estamos emperrados en la prefabricación de vigas para montarlas en tramos simplemente apoyados, por lo cual, existen medios auxiliares apropiados a ello, en diversas empresas constructoras e incluso en empresas que lo explotan; sería conveniente organizarse paralelamente, para realizar puentes continuos con cimbras autolanzables provistas de encofrado, el cual puede ser de aluminio para reducir peso. Es una solución muy apropiada para viaductos de autopistas de luces medias y alturas de cualquier importancia o en casos con dificultad de colocar apoyos intermedios de cimbra.

## Puentes para ferrocarril.

Checoslovaquia es uno de los países más lanzados en la utilización del hormigón pretensado en puentes ferroviarios. Además del puente por dovelas de Morgenachof, al que ya nos hemos referido, tiene actualmente unos cuantos tramos de hormigón pretensado y algunos puentes continuos.

En Holanda, debido a lo llano del país, los problemas de interferencia de ferrocarril y carreteras o calles en ciudades son muy importantes y hay que solucionarlos urgentemente, dado el aumento creciente del tráfico. Siempre se presenta la condición de altura estricta y se resuelve, en la mayoría de los casos, con losa continua de hormigón pretensado para luces de 10 a 20 m. con espesores de 80 a 150 cm. Así, por ejemplo, en el viaducto de la ciudad de Delft, partida en dos por el ferrocarril más importante del país, elevado en 800 m. de longitud con 13,50 de anchura y espesor de 85 cm. El de Spaanse Bocht, en Rotterdam, con cuatro vanos continuos 14,5 + 24,5 + 27,0 + 18,5 con espesor de 1,51.

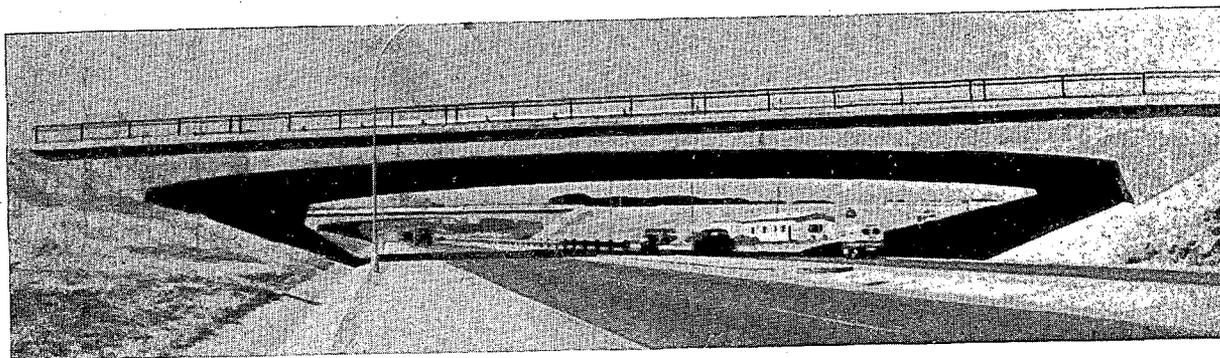
Francia, por ejemplo, se habría quedado parada en el viaducto de La Voulte, aunque éste es un hermoso ejemplar con sus tramos de 60 metros de luz.

Por el contrario, Bélgica dio siempre gran impulso a los puentes ferroviarios de hormigón pretensado, empezando por construir una losa experimental de 20 m. en los enlaces ferroviarios de Bruselas. Tiene el puente de Cherg, sobre el Escalda, con 49 m. y actualmente en construcción varios sobre autopistas, como el de Ketenis, de pórtico en  $\pi$  salvando toda la autopista.

En España, el primer puente ferroviario fue el que construimos sobre las pilas de la presa de Térmicas Asturianas, en el Nalón, con siete vanos de 16,50 m. de luz, de tablero inferior, construyendo las vigas laterales por dovelas y ejecutando después el tablero en su sitio. Después, se construyó el paso sobre la autopista de Barajas, junto a la Alameda de Osuna. En la actualidad, se están construyendo los dos grandes puentes para carretera y ferrocarril en los ríos Almonte y Tajo, embalsados por la presa de Alcántara, de los que ya hemos hecho mención.

# PUENTES EN AUTOPISTAS ESPAÑOLAS

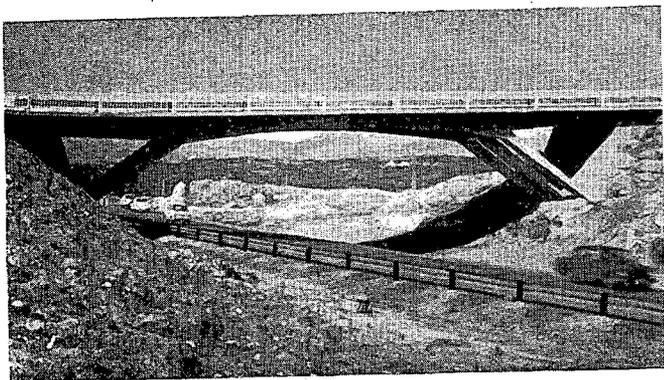
Pasos de la Glorieta Eisenhower.



Luz: 60. m.

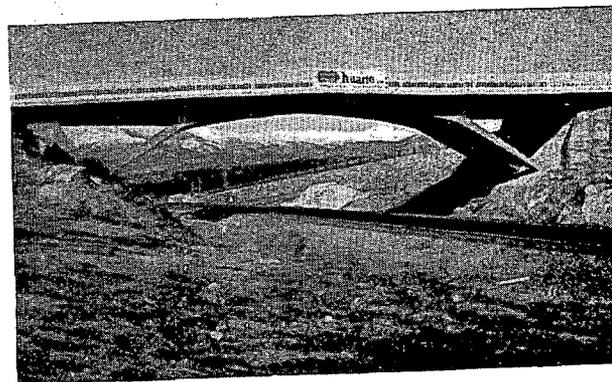
T. Mur. — Dragados.

Pasos de La Navata.



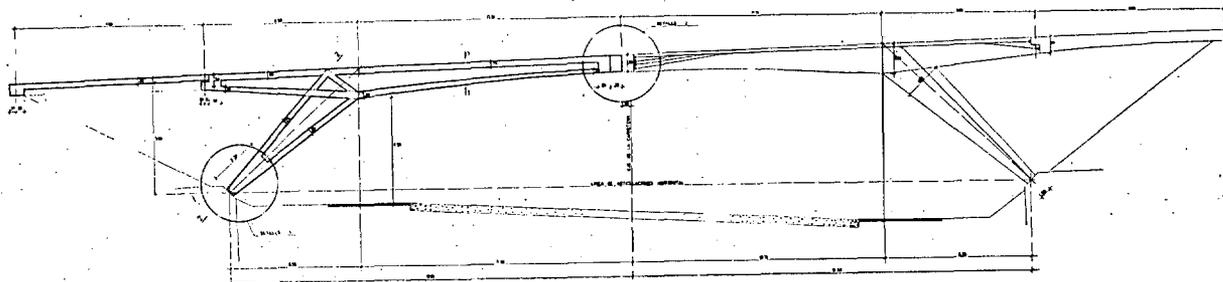
Luz: 27,00 m.

Fernández Casado. — Huarte.

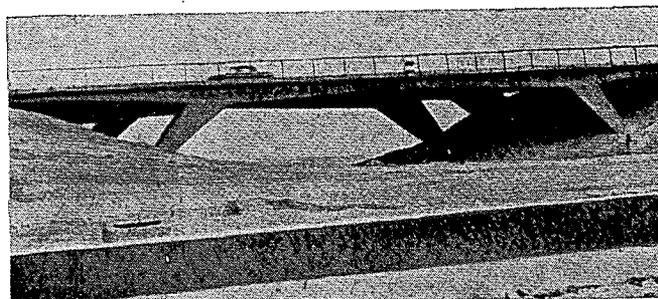
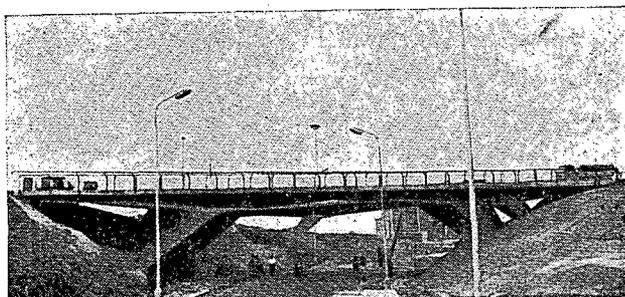


Luz: 25,00 m.

Pasos del distribuidor del terminal de Barajas.



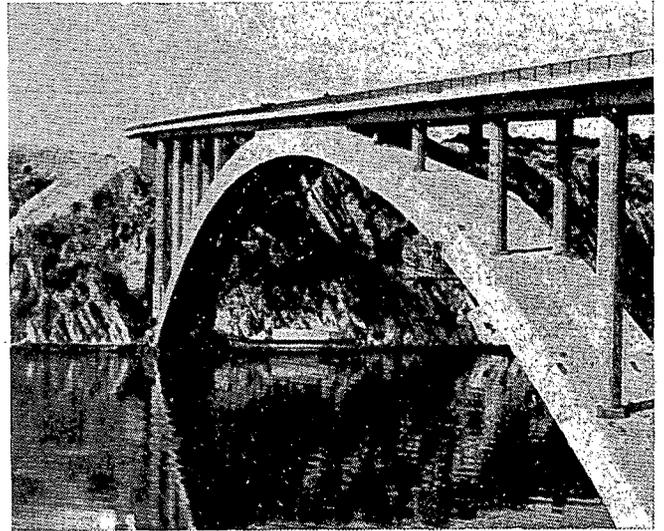
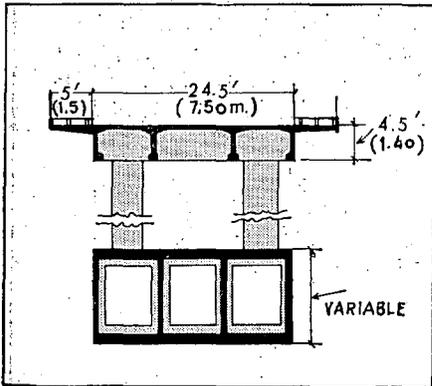
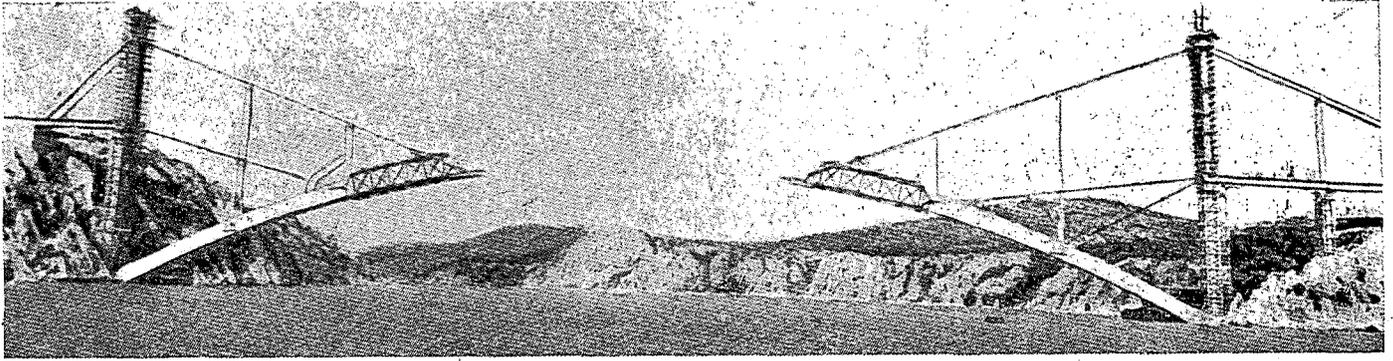
Sección longitudinal.



V. Cudós. — Dragados.  
Luz máxima: 34 m.

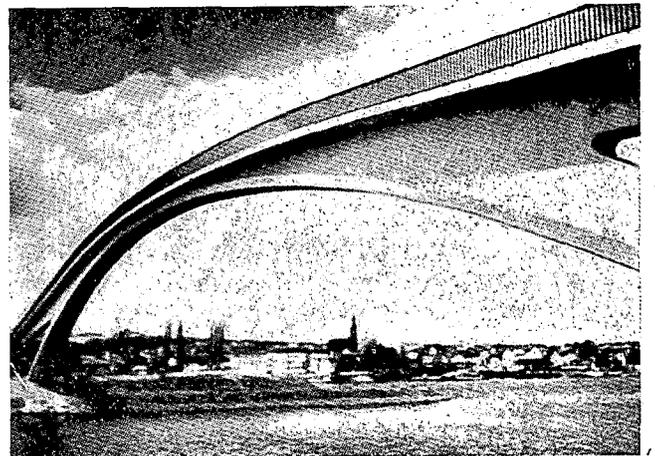


PUENTE SOBRE EL RIO KRVA, CERCA DE SHIBENIK (YUGOSLAVIA)

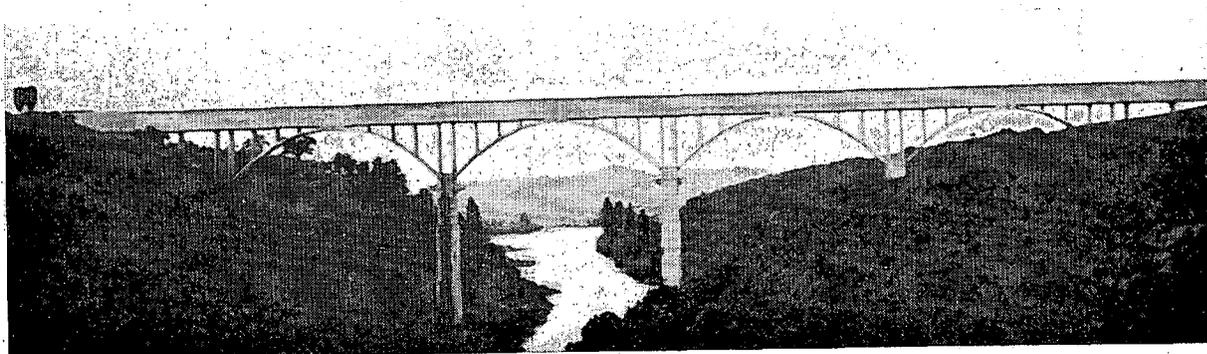
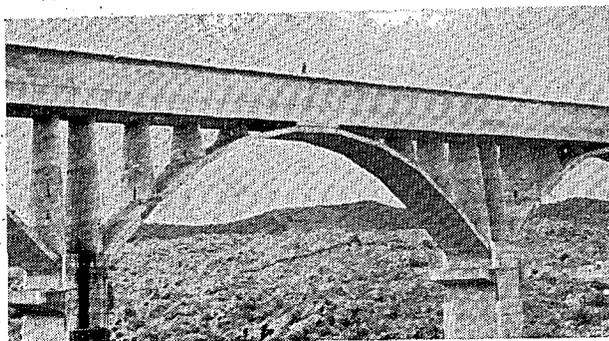
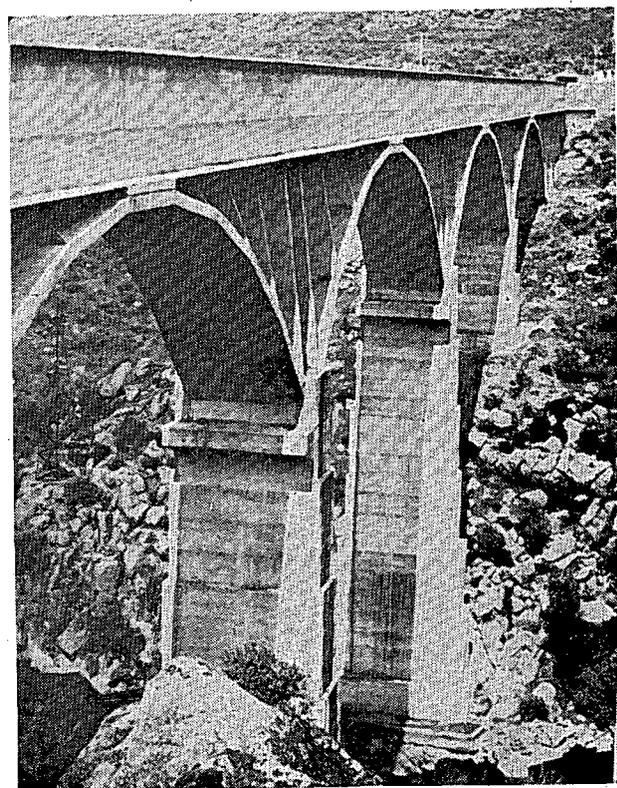
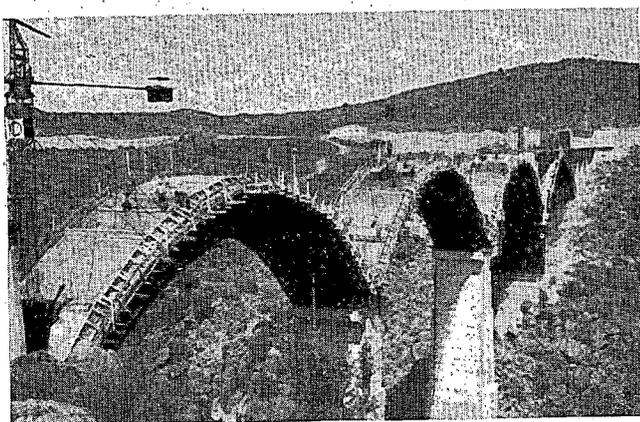
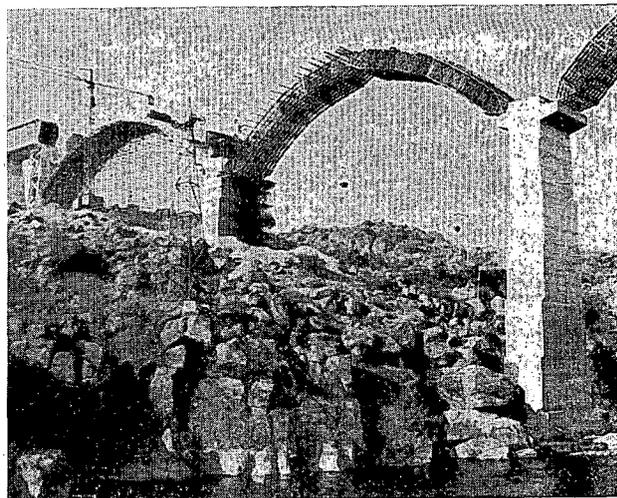
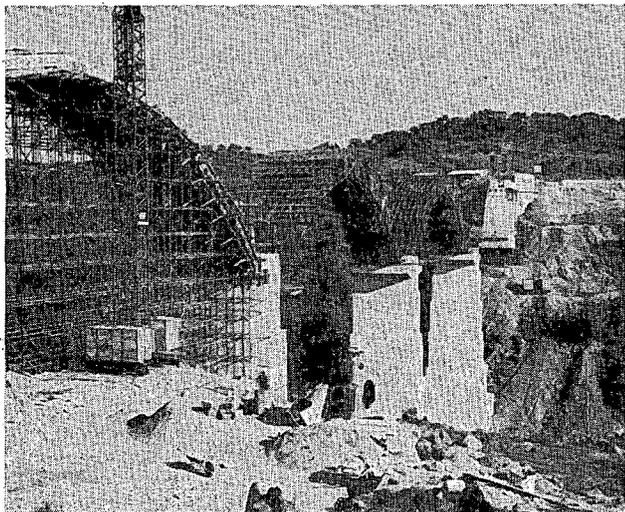


Luz: 246,40 cm.  
Rebajamiento: 1 : 8.

Pasarela pretensada de hormigón ligero.



ACUEDUCTO DEL ALAGON EN EL CANAL DE VALDEOBISPO Luces: 4 × 40 m.  
FERNANDEZ CASADO - GINES NAVARRO, S. A.



## Pasos de autopistas.

Como decíamos al principio del artículo, en este tipo de puentes es donde cabe mayor iniciativa en el proyecto de sus estructuras. Se trata de vanos cuyas luces no rebasan normalmente los 50 m., vanos que es preciso salvar con dinteles de máxima esbeltez, ya que la condición de altura estricta se impone, no sólo por razón funcional en la mayoría de los casos, sino que también por hacerlo más diáfana posible esta fábrica que se atraviesa al tráfico inferior.

En toda la historia del puente la especie correspondiente al cruce de vías de comunicación a distinto nivel, ha supuesto la máxima innovación en la problemática de sus estructuras, y concretando más, la cuestión se particulariza a los pasos de carreteras, pues el de cruce de carretera sobre ferrocarril, que es el más antiguo, queda ahormado por los túneles en toda su primera época.

Por feliz coincidencia la innovación constructiva del hormión pretensado ha permitido resolver de un modo adecuado los problemas planteados. Del hormigón armado al hormigón pretensado, las esbelteces longitudinales de los dinteles (relación del espesor mínimo con la luz) han pasado del 1/20 al 1/50, empleando el máximo artificio de canto variable y continuidad, o desde el 1/10 al 1/25, cuando se utilizan los dinteles simplemente apoyados de canto constante. Estos límites del pretensado se consiguen fácilmente, ya que dadas las luces a salvar pueden utilizarse, casi siempre, soluciones de tablero de losa, maciza o aligerada, que dan la máxima reducción del canto, al mismo tiempo que se obtiene otra gran ventaja para la diafanidad, que es el intradós continuo, ideal para crear el mínimo obstáculo, pudiéramos decir psicológico, al conductor que ha de pasar forzosamente por debajo.

Indudablemente el paso sobre una carretera es un abtáculo a su perfecta vialidad, por consiguiente, debe procurarse que lo sea al mínimo, es decir, que aparezca lo menos posible, lo cual lleva a la condición de máxima diafanidad. Por otro lado, poniéndose en el puesto del conductor a gran velocidad, no ha de produ-

cirle alteración; pero como forzosamente ha de recibir la impronta de su silueta proyectada primero en el parabrisas y después en el retrovisor, pasando por todas las situaciones intermedias; es preciso conseguir que la huella se neutralice pronto, o mejor aún, que dé una sensación de serenidad, tan beneficiosa para el hombre ajetreado por el tráfigo de la vida actual, y efectivamente, esta sensación puede proporcionarla el equilibrio en tensión de nuestra estructura.

El planteamiento del problema del puente ha cambiado mucho desde la situación expresada por aquella frase de los años veinte de que, salvo excepciones poco frecuentes, sólo veía el puente el peón caminero encargado del servicio. Actualmente, los puntos de vista, dicho sea sin metáfora, no pueden ser más numerosos y críticos, lo cual, naturalmente, ha tenido que influir poderosamente en el punto de vista anticipado y múltiple del que proyecta.

Las consideraciones anteriores no son pura divagación, sino que vienen a cuento para llamar la atención sobre la necesidad de poner a punto las posibilidades estructurales del pretensado en este ramo de los pasos sobre autopistas, antes de llegar a una normalización prematura de los mismos. Es lógico que esta sistematización se lleve a cabo, pues los casos se repiten y no merece la pena volver a empezar cada vez que se presente uno de los casos frecuentes; pero, primero, es preciso averiguar cuáles son estos casos frecuentes, y segundo, encontrar la solución más adecuada, para lo cual se precisa la aportación de todos los ingenieros que intervienen en el proyecto de estructuras de este tipo.

En las sistematizaciones existentes en diversos países unas veces se refieren a casos particulares, como los de pasos secundarios sobre las autopistas suizas, con cruces perpendiculares en estructura de dintel sobre células triangulares que se prefabrican en trozos y se montan rápidamente, con poca perturbación del tráfico. En Alemania, con una construcción intensiva, no se ha establecido ninguna normalización, y las empresas constructoras tienen soluciones propias. Los ingleses han desarrollado una gran variedad de pasos, pasarelas y puentes en sus autopistas, pudiendo decirse que son las realizaciones más importantes del hormigón

pretensado en este país. Los franceses han normalizado unos cuantos modelos, pero no son las obras más afortunadas en el conjunto de realizaciones de puentes. Hay un grave peligro, como ya hemos indicado, en llegar a una sistematización prematura con soluciones prefabricadas toscas. Esto ha pasado en Estados Unidos, donde las grandes facilidades que dan los talleres de prefabricación y los modos de transporte y montaje para obtener vigas de luces hasta 32 m., ha producido un evidente anquilosamiento en la evolución del hormigón pretensado.

Damós en láminas adjuntas los pasos correspondientes al nudo Eisenhower, con solución mixta de hormigón armado en estribos prolongados por ménsulas, que soportan un tablero de vigas pretensadas de 40 m., proyecto de T. Mur; los de cruces en los accesos al terminal de Barajas, proyecto de V. Cudós, y los pasos del nudo de Villalba, que se han terminado en el año pasado en nuestro país.

### **Puentes de arcos.**

La realización más interesante es la del puente del río Krva, cerca de Shibenik, en la carretera de la costa adriática, en Yugoslavia. La luz es de 246,40 cm., con flecha de 30,8, es decir, rebajamiento 1/8. La sección es de cajón tritelular con alturas de 3,70 en clave y 2,90 en arranques y diafragmas verticales de 0,20 y 0,16 los externos e internos, respectivamente, y losas superior e inferior variables de 0,28 a 0,60 metros. Tensiones máximas en hormigón 123 kilogramos/cm.<sup>2</sup>. Se ha hecho una corrección inicial de los esfuerzos para tener en cuenta retracción y fluencia mediante gatos en clave. La construcción se llevó a cabo por voladizos sucesivos arrancando de ambos estribos en 9 secciones de 27 m. de longitud, que se ejecutaban colgando la cimbra y encofrado mediante cables inclinados desde el propio tablero del tramo de acceso, primero, y desde una torre que prolonga los pilares de arranque, al final. Estos cables se tesaban para controlar el reparto de cargas entre las dovelas del arco ya construidas, y, además, conseguir la forma correcta de la directriz.

Se procedió desde los dos extremos, empleando sendos elementos de encofrado que se iban trasladando a los tramos siguientes con

ayuda de una barcaza para el transporte horizontal. La obra duró diez meses.

El tablero es de hormigón pretensado con cuatro vigas que se prefabricaron, uniéndose con losas *in situ*. Se apoya sobre parejas de columnas circulares de 1,20 metros.

Es el mismo sistema constructivo utilizado en dos puentes de la carretera de Valleys Road, en Inglaterra, con luces de 69 y 56 m., que tenían anillos de sección rectangular con espesores, variando desde 0,60 a 0,90. Se ejecutaron en ocho secciones, trasladándose el encofrado apoyado en dos de ellas, anclándose en la más avanzada y quedando en voladizo para hormigonar la próxima. Antes de mover la cimbra se recogía la extremidad del nuevo trozo con el cable inclinado correspondiente.

Como puede verse, los problemas constructivos de los puentes en arco son análogos a los de los puentes de tramo recto, ahorro de plazo, ahorro de andamio y encofrado, e independencia con respecto al río.

Otra construcción en arco de gran interés ha sido la pasarela de hormigón ligero pretensado con arco de 96 m. de luz y tablero solidario del arco prolongándose hasta 152 m., en el puerto fluvial de Wiesbaden-Schierstein. Las aplicaciones anteriores del hormigón ligero habían sido poco importantes en puentes, aunque ya en el año 1930 se hizo el forjado del tablero superior del puente colgado Bay Bridge en la comunicación San Francisco-Oakland. Durante la segunda guerra mundial se aplicó a la construcción de barcos de hormigón armado y desde entonces sus aplicaciones se han ido extendiendo en el ramo de las estructuras de edificación, para rascacielos de gran altura. En la actualidad se emplea en el rascacielos Lake Point Tower, de Chicago, con 70 pisos y altura récord en estructura de hormigón armado, que es de forjados de hormigón ligero y columnas de resistencia extraordinaria (525 Kg./cm.<sup>2</sup>). Para esto se ha llevado a cabo un estudio experimental muy completo en laboratorios de distintas naciones y en organismos internacionales y se ha avanzado extraordinariamente en la técnica de su fabricación, consiguiéndose actualmente resistencias de 350 a 450 Kg./cm.<sup>2</sup>, con pesos específicos por bajo de 1 700 Kg./m.<sup>3</sup>. Recientemente (agosto de 1967) la A.C.I. ha publicado una guía para la utilización del hormigón de áridos ligeros (Comité 213). En puentes se ha utilizado, como ya hemos indicado, en tableros de

puentes colgados (otro caso fue el del segundo puente de Tacoma), en el puente pretensado de la avenida Heatley, en Vancouver, con 10 tramos de 27 m. de luz, en 1963, y en el que citamos de la pasarela en arco del puente fluvial de Wiesbaden-Schierstein, donde el peso específico del hormigón es de 1 600 Kg./m.<sup>3</sup> y la resistencia de 300 Kg./cm.<sup>2</sup>. Esta realización abre un porvenir brillante a la utilización del hormigón pretensado en el caso particular de las pasarelas.

En España se ha terminado en 1966 un puente acueducto sobre el río Alagón para el canal de riego de la presa de Valdeobispo, con cuatro vanos de 40 m. de luz, salvados por estructura de arco-tablero tipo Maillart. Creemos que es el primer caso de aplicación de este tipo estructural al caso de acueductos, pues su autor lo aplicó a unos cuantos puentes de carreteras y ferrocarril con luces hasta 40 m., habiéndose superado este límite recientemente en el puente del río Costa, en Italia, por el profesor Passaro, con 100 m. de luz. La idea de la estructura consiste en combinar un tablero de gran rigidez que absorbe las flexiones, con un arco de pequeña sección funicular de las cargas para que, resistiendo por área las compresiones, no tenga inercia para absorber flexiones. En estas condiciones, el caso más apropiado es el del acueducto, cuya caja es siempre de gran rigidez, especialmente si tiene sección rectangular cerrada, y cuyo arco puede adaptarse perfectamente al funicular de cargas, ya que la sobrecarga necesariamente ha de ser uniformemente distribuida. Por estas dos características resulta el acueducto mucho más idóneo a esta solución que los puentes de carretera o ferrocarril, donde el tablero, materialización de un plano, no tiene rigidez importante, y el arco no puede amoldarse exactamente a funicular alguno, ya que existen varias hipótesis de sobrecarga muy diferentes entre sí. Resulta extraño que la solución no se hubiera aplicado al acueducto; nuestro proyec-

to es del año 1946, aunque ya lo habíamos intentado aplicar en el caso del acueducto del Najerilla, arco de 60 m., que por razones constructivas se realizó por el procedimiento constructivo opuesto, el de la autocimbra de perfiles laminados. La caja de nuestro acueducto es un cajón cerrado de 3,5 × 2,36 internos, y tanto los tabiques como el arco son de losa, con espesores variando de 0,16 a 0,40, en aquéllos, y de 0,30 a 0,45, en éste. El inconveniente de esta solución es que la cimbra ha de soportar no sólo el peso del arco, sino el peso de toda la estructura. Se construyó por la empresa Ginés Navarro, para la Confederación Hidráulica del Tajo, ingeniero encargado, Sr. Canadell.

### **Puentes colgados.**

En puentes colgados, Morandi vuelve a utilizar la solución de Maracaibo en tres vanos del viaducto de enlace de autopistas en Génova, y ha proyectado el puente de Entreríos para carretera y ferrocarril, sobre el brazo del Paraná, con 410 m. de luz, adoptado en un concurso internacional de proyectos celebrado en Argentina. Otro concurso de puente para el segundo brazo del mismo río, ha sido adjudicado también a esta solución de puente colgado, en un proyecto de Courbón con luz ligeramente inferior.

En luces menores, los belgas siguen insistiendo en la solución de tramo colgado clásica, construyendo torres metálicas y tablero pretensado, con la cual llegaron a 100 m. de vano en Merelbeke, pero han construido, además, una pasarela de dos vanos de 67 m. y cables rectos que irradian de la coronación de una torre central de hormigón pretensado. El tablero se construyó de elementos prefabricados de 16,75 m., enlazándose entre sí mediante nudos articulados que reciben, además, los amarres de los cables inclinados que los sustentan.