

LOS PUENTES DE FABRICA DURANTE EL AÑO 1967

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

Este artículo, cuya terminación se ha retrasado sucesivamente por diversas causas, constituye el sexto de la serie iniciada por el autor en 1963.

Competencia hormigón armado normal y pretensado.

El transcurso de casi un tercio de siglo, desde la primera aplicación del hormigón pretensado a puentes (hay que establecer un descuento por el intervalo de la guerra mundial), permite llegar a conclusiones casi definitivas con respecto a la competencia entre las dos técnicas del hormigón armado y el pretensado.

En una primera comparación de realizaciones máximas encontramos que las luces del hormigón armado normal se han quedado en la mitad, aproximadamente, de las del pretensado en todos los tipos estructurales comunes a ambos. Pero además, las luces de aquéllos están congeladas con antigüedad de diez a treinta años, mientras que las de los segundos se encuentran en franca expansión. Así, las luces máximas están en los 200 m. para pretensado (Maracaibo con 226 de luz teórica y Bendorf con 208

ídem, que se reducen a la cifra indicada al pasar a la luz libre), mientras que los de hormigón armado normal no han rebasado los 100 metros. Particularizando, tenemos en tramos simples 30 contra 60-70 m.; en pórticos sencillos, 54, en Smitz Park, y en 1938, contra Dischinger, en Berlín, con 98,50 m., y en 1956; en tramo continuo, Donzere-Mondragón, con 100 metros de 1958, y en tramos ménsulas, Jacques Boulouche, con 96, de 1957, contra el de Bendorf, que ya hemos indicado.

Empezando por las luces mínimas para analizar la cuestión en toda la gama de aplicaciones actuales, tenemos la primera solución, que es la losa simplemente apoyada de espesor constante. Su simplicidad es máxima en cálculo, proyecto, construcción, comportamiento y aspecto, lo cual nos indica que debemos mantenerla hasta la máxima luz posible, sacrificando incluso, algunas de sus cualidades, como la sencillez constructiva al recurrir a las soluciones alige-

radas por alvéolos circulares o rectangulares. En este primer escalón de los puentes, es lógico que el hormigón normal empiece teniendo exclusiva, pues existen unos espesores mínimos constructivos, que hasta una cierta luz impiden al pretensado poner en juego su principal ventaja de ahorro en material, que también es peso propio. Además, en estos pequeños espesores, el error relativo de situación de la armadura activa con respecto a la figura neutra, puede alterar nuestras previsiones, a menos que rebajemos el coeficiente de seguridad, para defendernos de las consecuencias correspondientes. Por otro lado, el gran número de aplicaciones de obras pequeñas en carreteras secundarias que no precisan de un constructor especializado en obras de fábrica y menos en pretensado, deben permitir una mayor amplitud de procedimientos y, por consiguiente, menor especialización estructural.

El hormigón armado, dadas las resistencias específicas de los hormigones actuales (es preciso mantener el nivel conseguido en nuestros hormigones, logrado con la aparición del pretensado) y de los aceros intermedios conseguidos en armaduras pasivas, puede llegar en condiciones normales hasta los 10 m. con tramos simples de losa y espesores hasta 0,60 m., que como acabamos de decir, no interesa reducir por intervención del pretensado, pues 2,5 cm. de error en la colocación de la armadura activa, admitido normalmente en pliego, representa una variación del 10 por 100 en la excentricidad. En cambio, estas losas simples combinadas con estribos y pilas de hormigón, ligeramente armado, constituyen la solución más económica en esta gama de luces frente a las antiguas tajeas, alcantarillas y pontones de fábrica, dando además una solución mucho más diáfana y de altura verdaderamente estricta, lo cual es interesante también en gran número de casos.

Rebasados los 10 m., que podemos considerar de la exclusividad del hormigón armado normal con losa simplemente apoyada y de espesor constante, tenemos los tableros simples de vigas, aunque queda la posibilidad de continuar con tablero de losa en las soluciones continuas (que pueden ser hiperestáticas o isostáticas por introducción de articulaciones) y llegaríamos a duras penas a 20 m. de luz útil, aunque ya en esta gama 10 - 20 m. la competencia del pretensado con sus losas simples, macizas o aligeradas, es francamente digna de tenerse en cuenta.

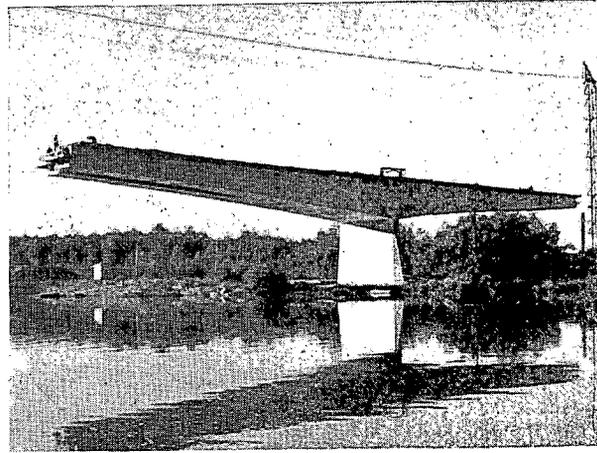
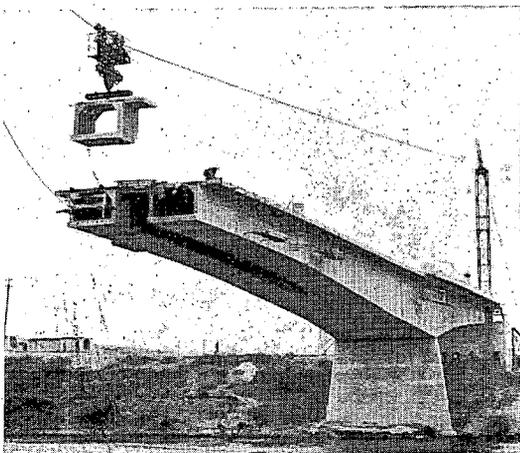
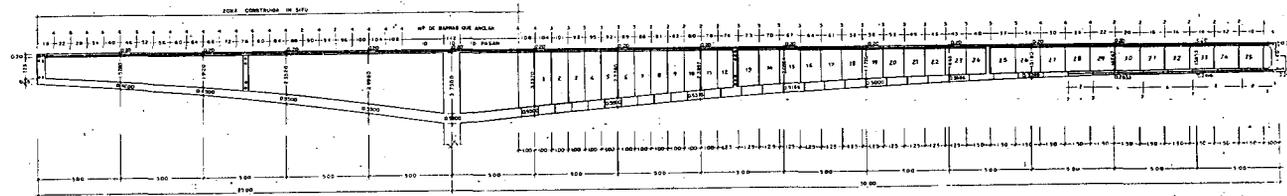
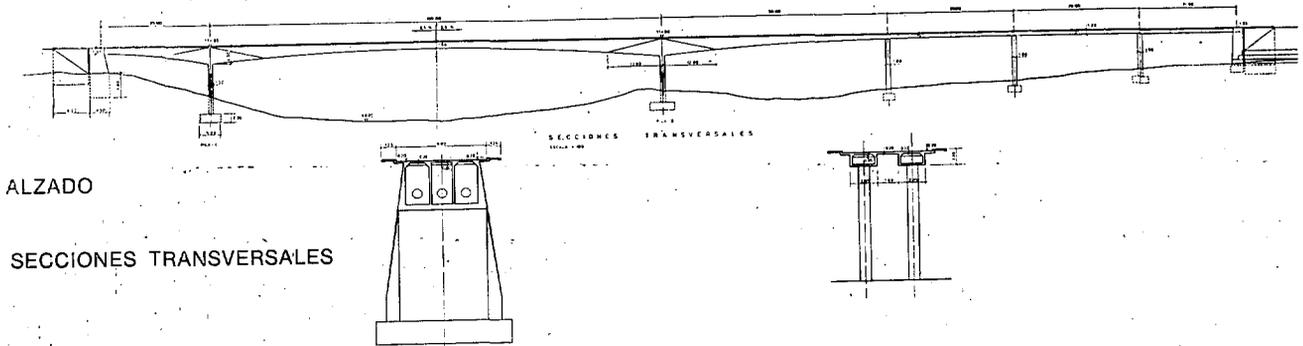
En estos últimos años, hemos proyectado y construido unos cuantos puentes de hormigón armado de losa con luces de 10 a 20 m. entre los cuales: el puente de Las Glorias sobre el Turia, en Valencia, con losa continua de siete vanos: $3 \times 15 + 17 + 3 \times 15$ y pilas intermedias de seis columnas de 0,80; el paso de carretera sobre tres ferrocarriles junto al puente del Caudal, en Mieres, con losa continua en cinco vanos de 15 m. apoyada también en filas transversales de columnas, excepto en una de las extremidades donde el tabique es solidario y aguanta el frenado; dos pasos sobre ferrocarril en Valencia con pórticos oblicuos de 14 m.; los dos puentes de Rubi con estructura continua de pórtico en T de 2×20 m. flanqueada por vanos continuos de 10, todos de losa; el paso sobre cuatro vías de ferrocarril en la estación de Pamplona con dos vanos de 10 m. de estribos solidarios de losa, y apoyo central sobre fila de columnas; el paso sobre el ferrocarril de Las Matas para la autopista Las Rozas-Villalba con pórtico doble: $5 + 10$ con una longitud de 62 m. y gran oblicuidad eliminada mediante la solución de luz ortogonal y triángulos adicionales; y el paso de la carretera de Barajas a Alcobendas bajo la carretera de Madrid a Irún, con pórtico de 14 m. de luz libre. En proyecto tenemos unos veinte pórticos y losas continuas con luces ortogonales hasta 15 metros.

Todas estas estructuras con sección transversal de losa, las consideramos indiscutiblemente dentro del dominio del hormigón armado normal y, pertenecen formalmente a nuestra colección de puentes de Altura Estricta, aunque ampliando las luces, cosa posible debido al aumento de resistencias específicas en acero y hormigón desde los años 1930-35 en que se estudió. En cambio, las soluciones de hormigón armado normal con estructura continua y tablero de vigas de esta misma Colección que abarcaban al principio el intervalo 10 - 20 m. ampliándose hasta 30 en el caso de tramos ménsulas, los consideramos definitivamente superados y a repartir su intervalo entre las soluciones de hormigón armado con losa continua que acabamos de enumerar y las losas de hormigón pretensado. El puente de Las Rozas, en la autopista ya citada, con 30 m. de luz central, ampliada por laterales de 7,50 para compensación estructural, que además son útiles e incluso obligatorios para dar una sección diáfana en la autopista,

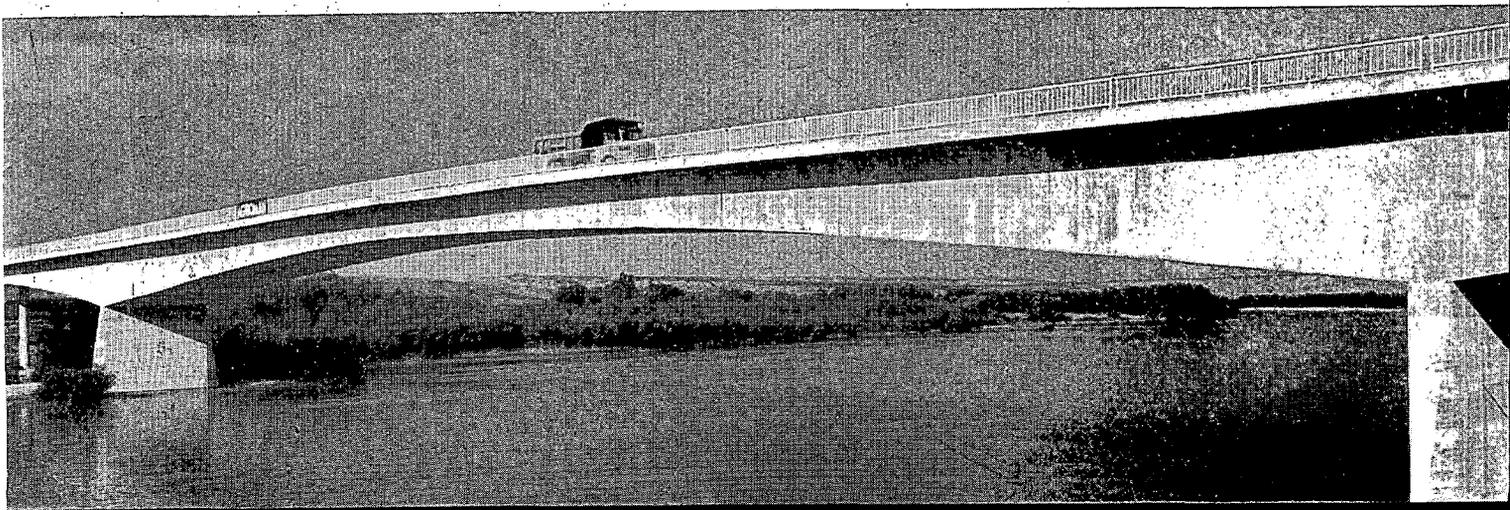
PUENTE DE CASTEJON, SOBRE EL EBRO

Luces: 25 + 100 + 50 + 2 x 28 + 21

FERNANDEZ CASADO, S. A. - AGROMAN



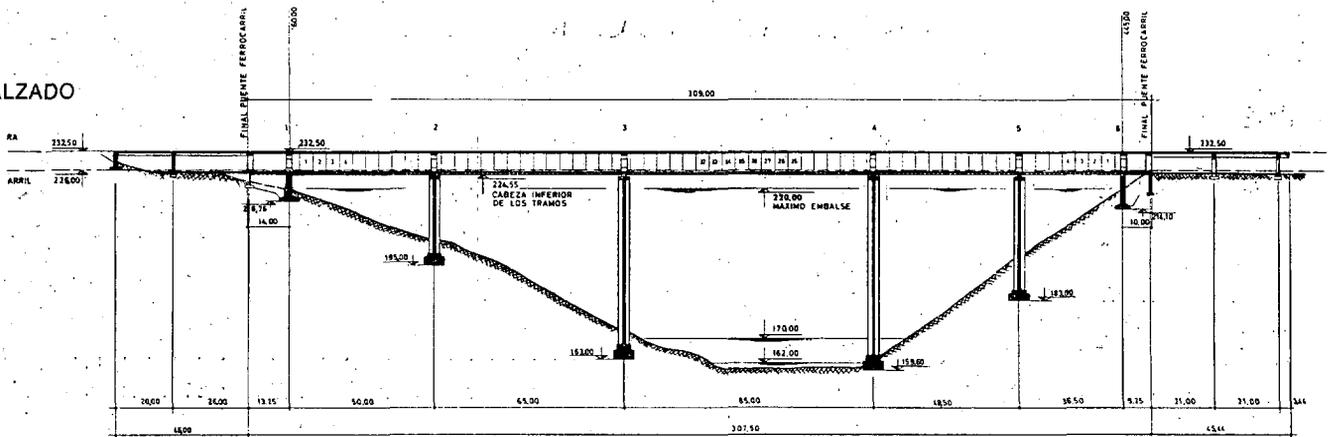
Fotos durante construcción.



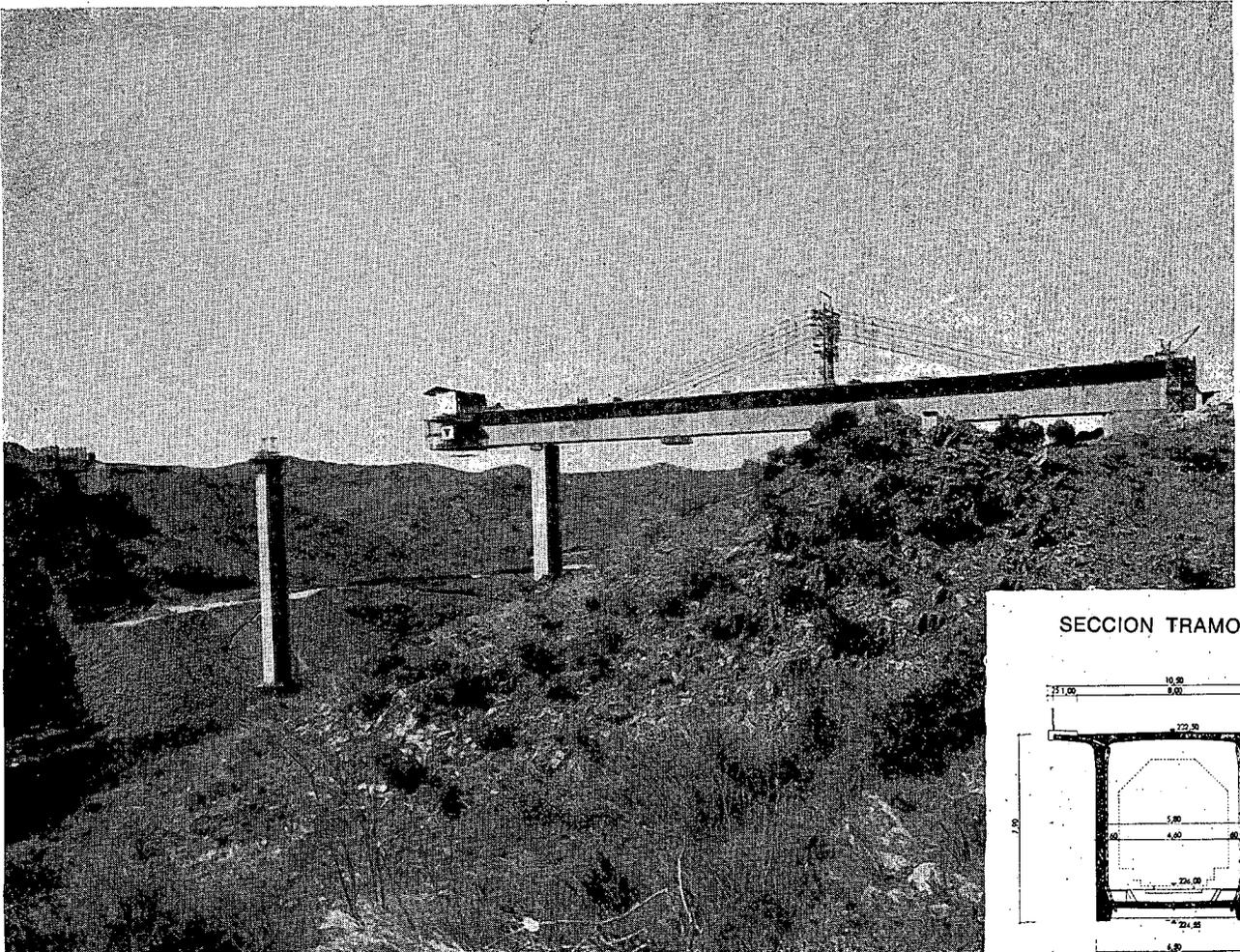
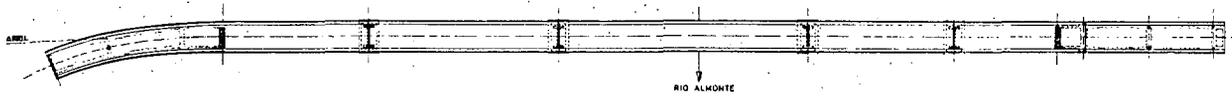
PUENTE PARA CARRETERA Y FERROCARRIL SOBRE EL ALMONTE, EN LA PLATA

DYWIDAG & CAMINOS Y PUERTOS

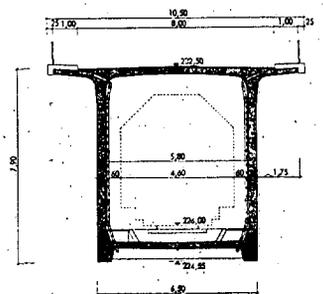
ALZADO



PLANTA

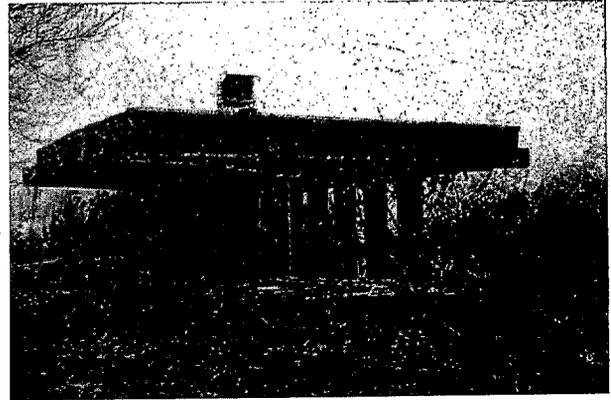
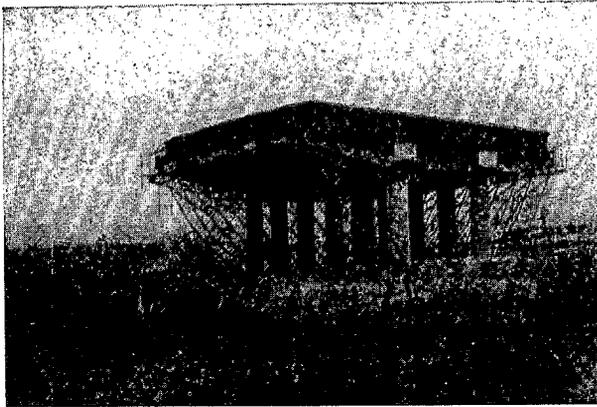


SECCION TRAMOS

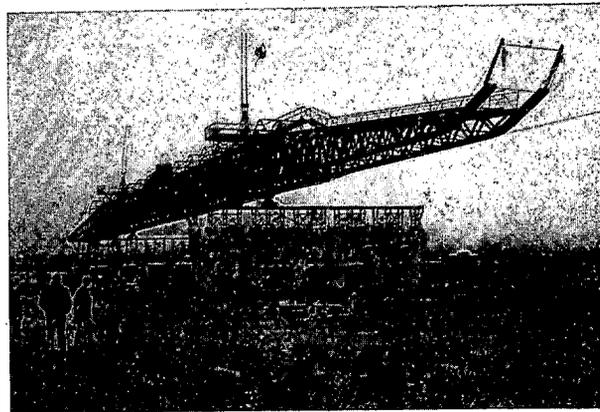


PUENTE DE AMPOSTA, SOBRE EL EBRO

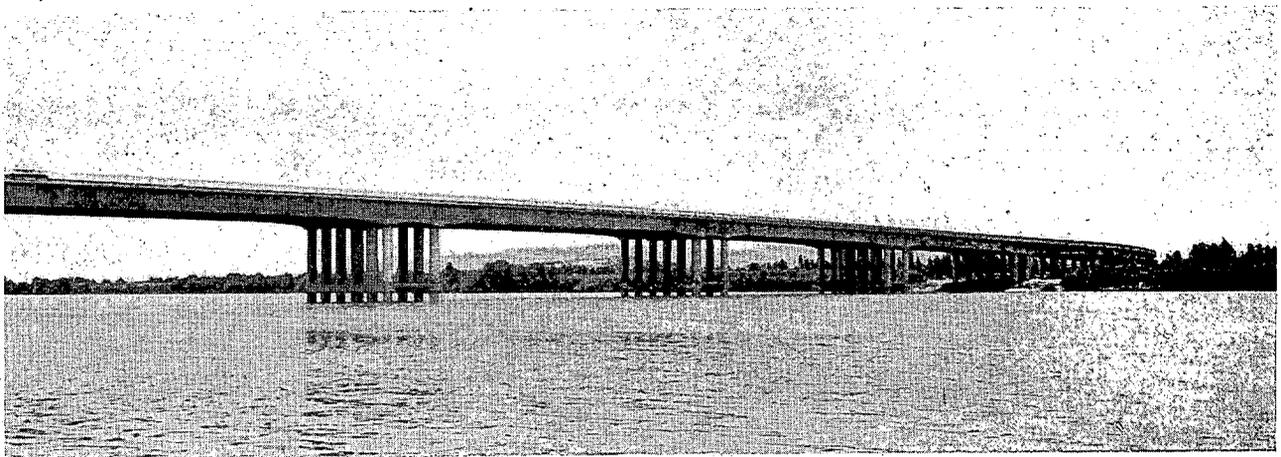
EFICSA - ZORZI



Elemento intermedio tipo Cassalmaggiore.



Puente de montaje de vigas.

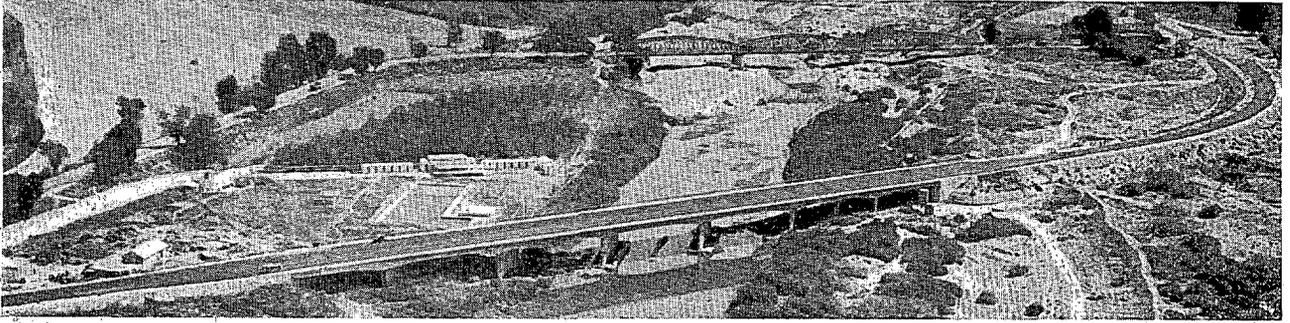


Vista parcial del puente.

PUENTES DE HORMIGÓN ARMADO NORMAL

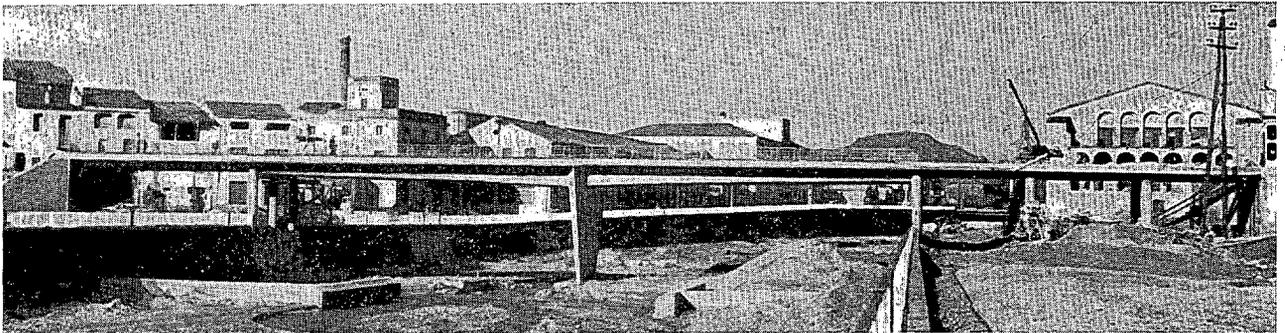
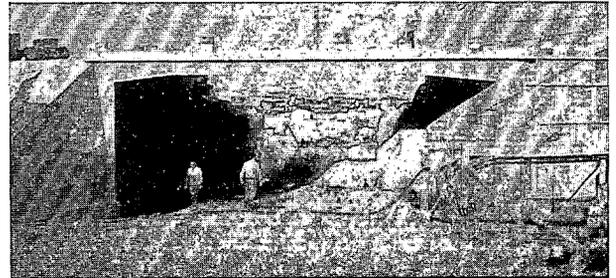
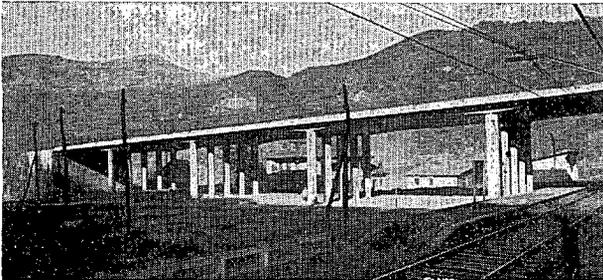
Puente de Arganda sobre el Jarama.

V. Oñate - Hidrocivil. 22,50 + 5 × 30 + 22,50



Paso de vías en la estación. F. Casado - Dragados.

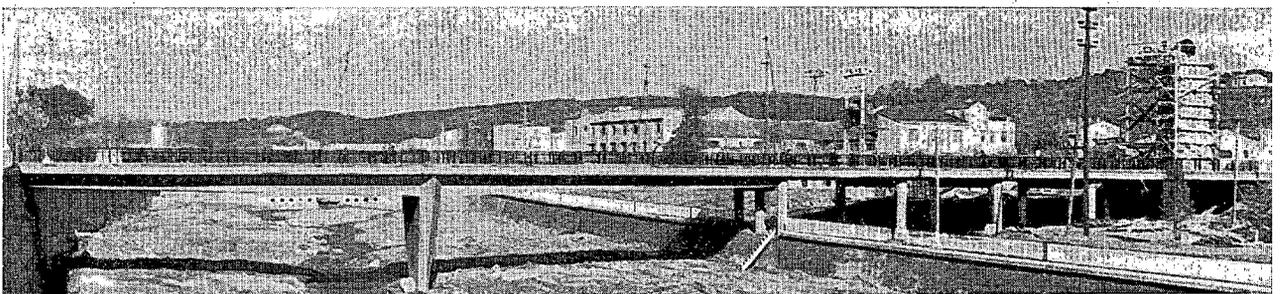
Paso inferior carretera Alcobendas-Barajas.
Luz: 14 m. F. Casado, S. A. - Dragados



Paso núm. 1. Riera de Rubí.

Fernández Casado - Huarte.

10 + 2 × 20 + 3 × 10



Paso núm. 2. Riera de Rubí.

2 × 20 + 5 × 10

resuelve todos los casos de esta luz en mejores condiciones que cualquier tipo de hormigón armado normal.

Para remachar esta afirmación nos vamos a referir al modelo normalizado de máxima luz de nuestra Colección de Puentes de Altura Estricta, el de tramos ménsulas de 30 m. con vanos extremos de 22,50, luces de cierta importancia en puentes de hormigón armado normal. Esta solución se ha repetido hasta cinco veces, a pesar de las restricciones en el empleo de acero después de nuestra guerra, y son: puente del Fluvía, cerca de Bascara (10 vanos, 1943); puente de Lerma, sobre el Arlanza (seis vanos, 1948); puente de Villaviciosa de Odón, sobre el Guadarrama (cinco vanos, 1944); puente del Palmones, cerca de Algeciras (cinco vanos, 1954), y puente sobre el Jarama (seis vanos, 1967). Este último para la sustitución del famoso puente de Arganda en la carretera de Valencia, con proyecto redactado por V. Oñate en 1958, que después de varias vicisitudes se ha puesto en servicio el pasado año. Consta de cinco vanos de 30 m. y dos terminales de 22,50. Este tipo de puente resulta actualmente más complicado de construir que uno pretensado de luces análogas, lo cual hace que sea además antieconómico.

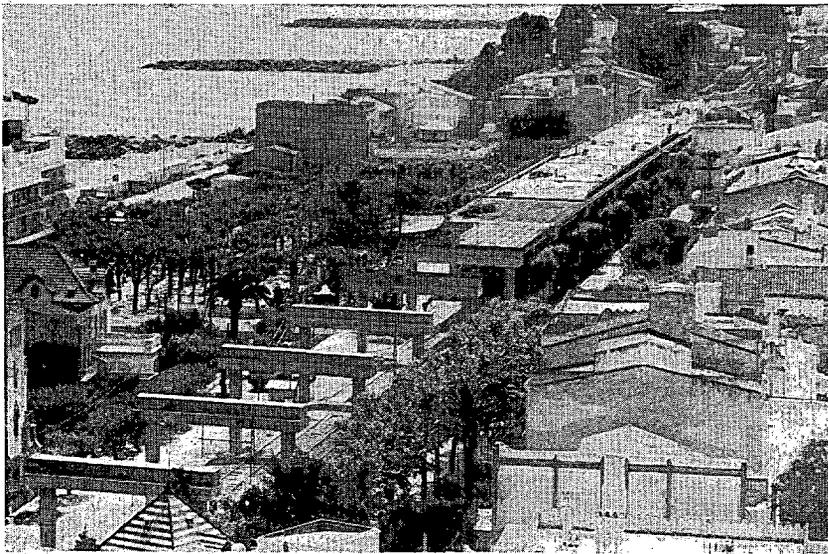
En luces hasta 20 m. pueden utilizarse tableros de vigas de hormigón armado normal, por las razones ya expuestas de permitir una gama más amplia de empresas constructoras. En compensación creemos que para la construcción de puentes pretensados de alguna importancia debieran restringirse los concursos a límites más cerrados que los actualmente establecidos.

De acuerdo con estos principios tenemos entre manos poner al día la Colección Oficial existente de puentes de tramo recto simples, vigente en la actualidad para el intervalo de luces 3-20 m., con la subdivisión 3-10 para losas y el resto a tableros de vigas. Al mismo tiempo, tenemos en estudio una colección de puentes pretensados simples: desde 10 a 40 m., de 10 a 20 m. en losa y de 20-40 en tablero de vigas especialmente estudiadas para prefabricación.

Esta condición de prefabricación, que no es privativa de los puentes pretensados, les favorece de tal manera que a partir de los 20 m. no

hay que pensar en la competencia de soluciones, ya que una ventaja extraordinaria de los pretensados es su disminución de peso, fundamental para el manejo económico de las vigas prefabricadas. Claro está que la gama de tramos simples en hormigón normal se termina en 30 m., pero tampoco tiene sentido esta competencia entre los tramos continuos de hormigón armado normal y los pretensados simples que llegan hasta más de 60 m. Por encima de los cincuenta metros los tramos de hormigón armado normal pueden considerarse extraordinarios, mientras que dichas luces son normales en puentes de hormigón pretensado.

Pero la competencia es todavía más irreal entre los continuos de ambas clases, puesto que la prefabricación corriente es aplicable a ellos, ya que pueden construirse tramos prefabricados de un vano, a los que se da continuidad después de montados, con lo cual tenemos todas las ventajas de la prefabricación y de la continuidad. Estas últimas se limitan a la sobrecarga, si se montan tramos coincidiendo con pilas, lo cual hemos realizado en el puente de Bembezar, sobre el Guadalquivir, y lo estamos llevando a cabo en la actualidad para los tramos laterales del puente de Iznajar, sobre el Genil. Pero las ventajas estructurales pueden conseguirse desde el principio, es decir, para carga permanente y sobrecarga, o construyendo tramos de la misma envergadura, es decir, de la longitud de un vano que montamos con un desplazamiento del cuarto de la luz respecto apoyos para conseguir la solución de tramos-ménsulas con cabalgamiento de tramo sobre ménsula, según ya hemos visto en los modelos de 30 metros de nuestra Colección de Puentes de Altura Estricta. Los enlaces en estas secciones, que son de momento nulo para carga permanente, son por este motivo muy fáciles de realizar, pero pueden dejarse en articulación si las condiciones del terreno de cimentación lo exigen, para lo cual tienen que ser francamente malas, y también, cuando la estructura es larga, dejar las necesarias juntas para cortar en trozos el dintel y no acumular elongaciones por variaciones de temperatura en los aparatos de apoyo. En estas condiciones tenemos la gran ventaja de ahorro de hormigón, muy importante en sí misma y por la facilidad y economía que introduce en las operaciones de manejo de las vigas. Solución de este tipo habíamos proyecta-



**VIADUCTO DE CALDEETAS
HIDROCIVIL**

20 tramos de 25 m. + 20 de 10.

T. MUR - TIERRAS Y HORMIGONES

Tres tramos de 40 m.

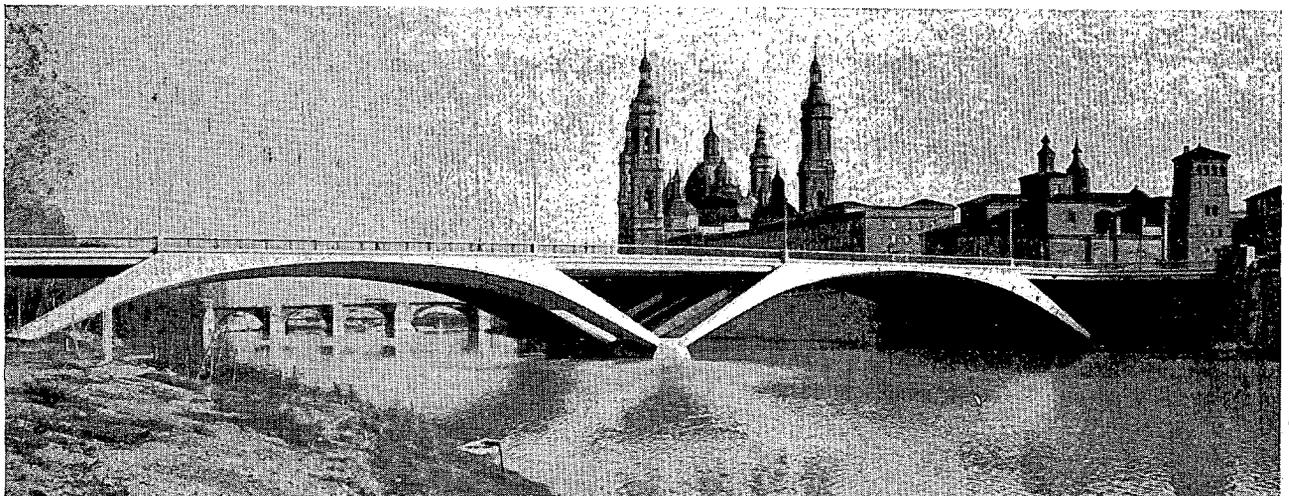


**PUENTE SOBRE EL SIL, EN
BARCO DE VALDEORRAS**

PUENTE DE SANTIAGO, EN ZARAGOZA

T. MUR - DRAGADOS

Dos arcos de 65 m. Tramos pretensados de 30 y 18 m.



do para el puente de carretera y ferrocarril, con longitud de unos 800 m., en el puente sobre la desembocadura del Tinto, en Huelva; proyecto que no se ha utilizado en la construcción.

Quedan a favor del hormigón armado las soluciones de arco, ya que desde los 200 m. de Maracaibo y Bendorf queda un intervalo hasta los 304 m. (1.000') del puente de Parramata, dentro del cual se encajan otros cinco puentes de arcos, todos de tablero superior. Ya vimos en un artículo anterior las modificaciones que había introducido el pretensado en este tipo de puentes al permitir mayor separación entre los montantes e incluso al suprimirlos. A este tipo verdaderamente heterodoxo pertenece el puente de Zaragoza, terminado el pasado año, con dos arcos de 65 m. de luz y pila central suprimida, proyecto de T. Mur. Los hombros de ambos arcos están enlazados por tableros de vigas prefabricadas de 30 m. de luz que no descansan al pasar sobre el apoyo intermedio, pero que al dar un vano diáfano cuasi-triangular en el centro, evita la impresión que pudiera haber sido torpe al situar una pila en el centro del río. De las claves a los estribos existen también tableros de vigas prefabricadas.

Dentro de los arcos propiamente dichos se está terminando el puente del Caudal, cerca de Mieres, en la nueva carretera para acceso a Oviedo desde este último lugar. Es un arco-tímpano de 70 m. de luz, que amplía con algunas variantes la solución del puente del Cubillas (50 m., 1954), solución que es muy económica por el aprovechamiento integral de la estructura en su trabajo longitudinal, con muy poca flexión parásita transversal. Desde el punto de vista constructivo permite una construcción independiente del río, después de realizada la cimentación, por el procedimiento de los anillos prefabricados ya utilizado en Cubillas, montados al terminar el estiaje, sirviendo como autocimbra para la construcción evolutiva de tímpanos y tablero, y quedando aparentes en definitiva como recrecimientos de los tímpanos.

El tipo de arco es triarticulado durante el proceso constructivo, anulándose la articulación de clave al terminar éste, aunque en realidad la reducción del momento de inercia en la zona central es tan grande que funciona como una semiarticulación para la sobrecarga. Esto le da independencia estructural completa respecto a

los asientos de apoyos en la etapa constructiva y efectos muy reducidos en su situación definitiva, y lo mismo con relación a los alargamientos de cuerda.

Este tipo de estructura, especialmente en la fase de triarticulación, presenta la anomalía curiosa de ser muy fácil de analizar desde el punto de vista de los esfuerzos, pero muy poco clara desde el punto de vista de las tensiones, que en definitiva es lo que nos interesa al proyectar. El quid de la cuestión está en que nos hemos salido de las estructuras lineales a la que corresponden arcos puros, y estamos en presencia de una estructura superficial de tipo disco, por lo cual el estado tensional no se deduce de la simple consideración de los esfuerzos (resultantes de las tensiones en planos con una ordenación no estructural). Para obviar estos inconvenientes hemos recurrido a un estudio experimental en dos modalidades: primero, por análisis fotoelástico, y segundo, por análisis de flechas y tensiones (mejor dicho, deformaciones unitarias en diversos puntos y direcciones del paramento) en módulo reducido de plexiglás. El primer ensayo sirvió, además, para determinar la posición de las bandas extensométricas del segundo y su orientación.

Puentes construidos en España.

En el pasado año se han terminado tres puentes de gran importancia, por lo que se refiere a soluciones aplicables en los problemas de mayor envergadura que se plantean en nuestro país.

Son estos puentes: el complejo de dos con solución idéntica para el Tajo y el Almonte, embalsados por la presa de Alcántara; el de Amposta, en la zona final del Ebro, para la carretera de la costa oriental, y el de Castejón, también sobre el Ebro, en la comunicación Norte-Sur de Navarra con la zona central.

Los primeros han sido realizados por los alemanes, empresa Dywidag, en asociación con otras españolas, que ganó el concurso internacional de proyecto y construcción convocado por Hidroeléctrica Española. Son puentes mixtos para carretera y ferrocarril de tramos continuos, alcanzando con sus 85 m. de luz máxima el récord de puentes ferroviarios de hormigón pre-

tensado. Se ha utilizado el sistema clásico de Dywidag, de construcción en voladizos sucesivos por avance de carro, en una sección transversal de cajón único de sección constante, por el interior del cual circulará el ferrocarril (simple vía), reservando a la carretera el tablero superior, obtenido por vuelos marginales del techo del cajón. En la actualidad, se construye en esta misma dirección el puente de Nusle (Checoslovaquia), también mixto, carretera y ferrocarril, con la misma disposición de cajón único para una luz de 110 m. y también por voladizos sucesivos, aunque adoptando el sistema de dovelas prefabricadas.

Las luces de estos dos puentes son: $14 + 50 + 65 + 85 + 65 + 50 + 14$ en el del Tajo, y $14 + 50 + 65 + 85 + 48,5 + 36,5 + 10$ en el del Almonte. Son dinteles continuos, articulándose en los apoyos sobre todos los pilares con rodillos, excepto en los centrales, que se solidarizan, ya que son muy flexibles, debido a su altura, que es la máxima. Las acciones de frenado se transmiten a los estribos. Los pilares son de hormigón armado con sección en H constante en toda la altura (25,0 a 59,5 m.), aunque variando con éste la armadura desde 1,12 por 100 a 0,42 por 100.

El puente de Amposta ha sido realizado por los italianos; proyecto de S. Zorzi y construcción de Facsura, englobados en EFICSA, también ganadores del concurso internacional convocado por el Ministerio de Obras Públicas, ya que en dicho momento nuestro nivel en pretensado era bajo, por culpa de nuestra postguerra. Es una solución de tipo Casalmaggiore, con luces alternas de 60 y 10 sobre pilares, formadas por seis elementos en pila-pilote de 1,50 metros de diámetro. El excesivo diámetro del pilote respecto a la altura de pilas, y la desproporción ménsula-tramo (7,50 : 45,00) en los vanos de 60 m., da un resultado poco agraciado al módulo fundamental, aunque esto se mitiga por su repetición en ocho vanos. La longitud total es de 1 050 m., pues el puente propiamente dicho se prolonga por ambos lados con una serie de tramos simplemente apoyados de 45 metros de luz, que son idénticos a los tramos intermedios sustentados así dentro de las luces de 60 m.

Afortunadamente, los españoles hemos terminado este mismo año el puente de Castejón,

también sobre el Ebro, con un vano principal de 100 m., que ha recogido el récord de los tramos rectos de hormigón construidos en nuestro país, directamente del puente de Almodóvar (70 m., 1964). También hereda de este puente el sistema constructivo de avance en voladizos sucesivos con dovelas prefabricadas que pusimos a punto en dicha obra, después de sucesivos proyectos desde el año 1958. En el puente de Almodóvar se utilizó el sistema de dovelas pequeñas — ocho toneladas — para montarlas con *blondín*, sistema que hemos vuelto a emplear en Castejón, variando en cambio el modo de enlace entre dovelas, que en aquél fue de junta húmeda, es decir, rellenando entre dos con mortero, y en éste ha sido de junta seca, pegando las dovelas mediante epóxido que se da en fresco sobre las caras de ambas, adaptándolas una contra otra a presión para reducir al mínimo el espesor de epóxido, y consiguiendo así una perfecta soldadura entre ambas. La coincidencia resulta perfecta, ya que las dovelas se habían hormigonado una contra otra, formando bloque total las de cada voladizo. Estos bloques se construyeron en Almodóvar sobre los tramos de avenidas convenientemente apeados, y en Castejón, sobre el terreno de la margen derecha, recortado en bancadas con la forma del intradós.

Como el epóxido seca en pocas horas y tiene mayor resistencia a tracción que el mortero, no es preciso esperar al endurecimiento para proceder a las operaciones sucesivas de tesado de armaduras y colocación de la próxima dovela. De este modo, se puede avanzar a una dovela diaria por tajo de colocación, que en Castejón se multiplicaba hasta seis, aunque como no hubo necesidad de forzar las cosas se llegó sólo a cuatro diarias. Como era la primera vez que se empleaba este sistema en nuestro país, hicimos estudios partiendo de la experiencia francesa, que era abundante y accesible, y la de los rusos, que lo habían utilizado desde 1958 (aunque más difícil de obtener), y aprovechando la colaboración de la casa CIBA, que tomó este asunto con gran interés, probando diversas combinaciones del producto base y aditivos diferentes para determinar las condiciones de fluidez inicial y tiempo de endurecimiento. Por otro lado, se estudiaron las resistencias a tracción de probetas *sandwich*, en las que se tantearon distintas preparaciones de las caras

antes de aplicar el epóxido, llegando a la conclusión de que los mejores resultados se obtenían con hormigones moldeados en contacto, tratados inmediatamente antes de la aplicación del epóxido con chorro de arena para limpiar las superficies y eliminar la película de lechada, y apretando después las superficies en contacto para hacer fluir al exterior el epóxido sobrante, dejando reducido su espesor a un mínimo uniforme. Esta utilización de epóxido y chorro de arena coincide con la práctica francesa y la que se deduce de los artículos sobre los puentes rusos y checoslovacos.

En el año actual se desarrolla la construcción de otros dos puentes donde se utiliza el montaje de dovelas prefabricadas por voladizos sucesivos: el de Sevilla, sobre el Guadalquivir antiguo, convertido en dársena, y el de Iznajar, sobre el Genil, embalsado por la presa del mismo nombre. En este último, con zona central de 55 + 85 + 55 m. a 70 m. de altura sobre el fondo, se va a emplear la misma técnica de dovela de 9 Tn. para montar con blondín de unos 500 metros de luz. Estas dovelas son rebanadas de un cajón por carril. En el de Sevilla, con dos vanos de 56 m. en tramo continuo solidario del pilar central, aprovechando las facilidades que proporciona el calado del río para transportar las dovelas por flotación y las de tener a disposición la grúa flotante de 90 Tn. de los astilleros de Elcano, hemos adoptado dovelas de 80 Tn. que corresponden a rebanadas de cajón único para tablero de tres carriles. Los bloques de dovelas correspondientes a medio tablero de cada vano, se han construido sobre unas montañas, reproduciendo la forma del intradós del dintel, aprovechando un muelle particular del puerto, hasta donde llega la grúa flotante que va desprendiendo las dovelas del bloque, y las coloca en barcas que las transportan al Tajo para volverlas a coger y colocarlas en su posición definitiva. En Iznajar se construyen las dovelas sobre los tramos de acceso y sobre la explanación (en esta última zona, las dovelas de mayor sección), habiéndose introducido la variante de moldear el bloque invertido, con la superficie del trasdós que es plana, en cara inferior en contacto directo con la superficie del terreno o de los tableros, que es horizontal, lo que reduce la obra auxiliar y facilita el desprendimiento de las dovelas, que, como ya hemos indicado, son de 9 Tn.

Exceptuando los puentes rusos, el puente de Castejón es el de mayor luz construido con dovelas prefabricadas por voladizos sucesivos. Ya hemos indicado que está en construcción en Checoslovaquia el de Nusle, con tres vanos de 115,50 para carretera y ferrocarril.

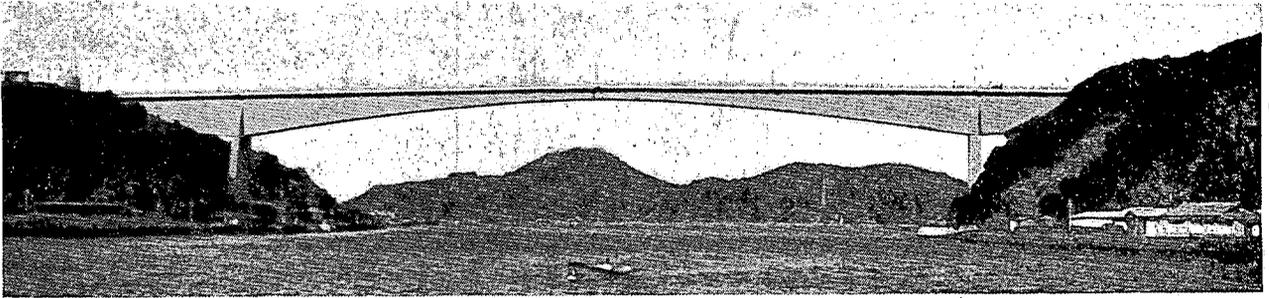
En este momento se encuentran en estudio las redes arteriales de Madrid y Barcelona, y en construcción, algunos tramos en carreteras nuevas o simplemente mejoradas. Causa extrañeza la insistencia en el empleo del tramo simplemente apoyado como solución de los puentes o pasos de hormigón pretensado. Por ejemplo, la reconstrucción de los puentes del Vallés durante los años 1964-65, dio lugar a una decena de puentes correspondientes a diversos organismos administrativos, entre los cuales sólo fueron continuos los dos de hormigón armado que se construyeron en el pueblo de Rubí. A veces, se integran tramos simples en otras soluciones complejas: mixtas de arcos y tramos rectos como en el puente de Santiago, en Zaragoza, con tramos de 30 m. que cierran el vano central entre los dos arcos de 65 metros; o alternando con pilas dobles en TT prolongadas en ménsulas de hormigón armado como en los puentes del Almonte y Sancti-Spiritus, proyectados por F. del Pozo. Otras veces la cabeza superior de la TT es pretensada y se prefabrica como en la solución del Ahigal, repetida en el del Cardenal sobre el Tajo, por Martínez Santonja.

De unos 60 puentes pretensados españoles construidos hasta 1967, con más de 20 m. de luz, sólo difieren del tramo sencillo cinco de tramos ménsulas (continuos e isostáticos), el pórtico triarticulado para el vano central del puente de San Telmo, en Sevilla, y sólo de estructura hiperestática: un pórtico simple para ferrocarril, el puente de Castejón y los 10 puentes de tramo continuo o de sustentación sobre células que hemos proyectado directamente. Los dos más importantes por longitud y presupuesto que se construyen en la actualidad: el de la desembocadura del río Tinto y el de la bahía de Cádiz son repetición de tramos simples.

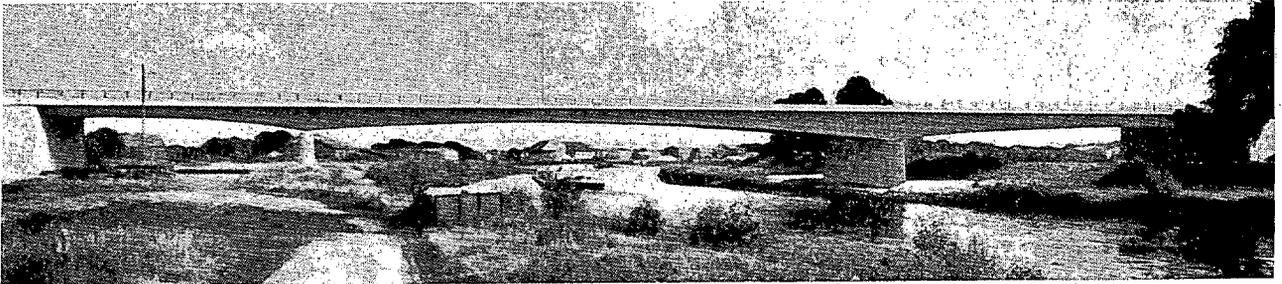
Construcción en otros países.

Tramos rectos. — Para completar lo que se ha hecho en tramos rectos durante el pasado

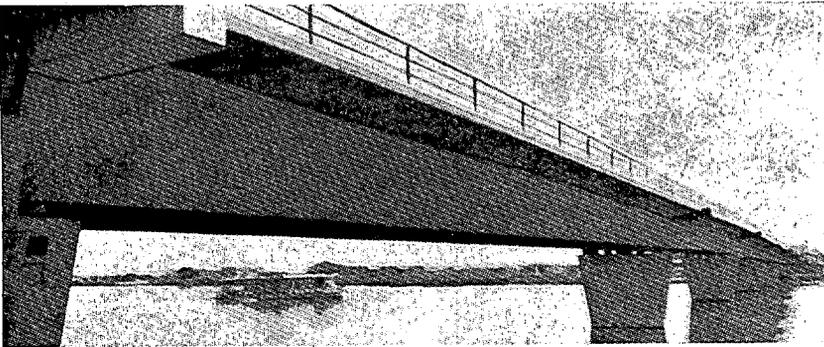
PUENTES POR VOLADIZOS SUCESIVOS, SISTEMA DYWIDAG



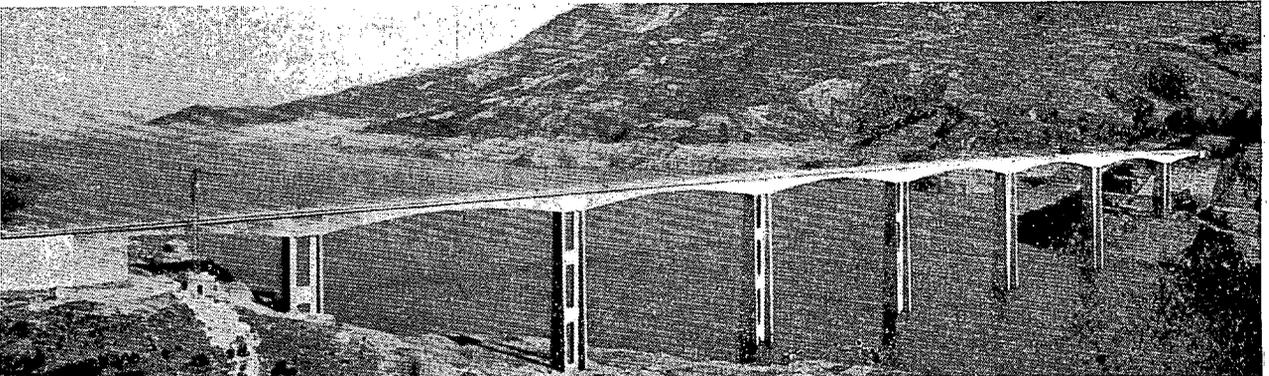
Puente de Nagoya. Japón. $41 + 175 + 41$.



Puente del Ems en Meppers.



Puente para ferrocarril en Setagawa.
Japón. 5×46 m.



Doxiadis. Puente de Megdova. Grecia. $43 + 6 \times 86 + 43$.

año podríamos pasar revista a los distintos sistemas constructivos actualmente en uso, empezando por la construcción *in situ* con andamio, sistema que ha ganado vigencia en los últimos años gracias, primero, a los andamios desmontables, que pueden partir de la atomización estrema del tubo y su casquillo formando retículas superficiales, o bien agrupar desde el principio células más complejas, formando pilares o dinteles cuando hace falta despejar luces. El último perfeccionamiento ha sido el de los andamios sobre ruedas, que se desplazan llevando jácenas metálicas que sirven de cimbras y soportan el encofrado perfectamente organizado para hacer rápidamente el desencofrado, transporte y nueva puesta.

Siguiendo en esta dirección, tenemos los sistemas constructivos que utilizan puentes metálicos provisionales autolanzables que transportan también las cimbras y encofrados necesarios para una tramada completa de puente. Normalmente, esta tramada es de la longitud de un vano, aunque suele desplazarse con respecto al pilar que utiliza en una longitud entre el cuarto y el quinto de la luz, para que la junta se produzca en una sección donde las flexiones son reducidas y perjudican lo menos posible. Es de advertir que estos puentes son siempre de dinteles continuos, aunque cuando tienen gran longitud se dejan vivas algunas de las juntas de construcción. A este sistema constructivo, el más reciente de los actuales puesto a punto por las empresas alemanas Pollensky & Zöllner y Dywidag, dedicamos una gran parte del último artículo.

De este modo, se puede desarrollar la construcción al ritmo de un tramo completo cada dos semanas, y esto gracias a las altas resistencias iniciales conseguidas con los hormigones actuales.

Completando los procedimientos de ejecución *in situ* tenemos el de avance por voladizos sucesivos mediante carro que se desplaza sobre la parte en vuelo del dintel construido, llevando la cimbra y el encofrado de una longitud reducida, normalmente de 3,00 a 5,00 m., con ritmo de una semana en la repetición de operaciones. Este es el clásico procedimiento puesto a punto por Dywidag, del cual tenemos en 1967 los puentes de Meppen, sobre el Ems; el del valle del Ámbach, en la autopista de Dort-

mund, con 438 m. de longitud y vanos de 68 metros; el de Viesville, en Bélgica, con tramo principal de 96,60 y longitud de 559 m.; el J. F. Kennedy, en Maastrich (Holanda), con vano principal de 112 m. y longitud de 750 m.; el del Danubio, en Grein (Austria), con $73 + 106 + 73$; el de Essingeleden, en Suecia, con luz máxima de 120 m.; el de Tilausumero, en Finlandia, con 70 m. de luz máxima y 240 m. de longitud; el de Megdova, en Grecia, con seis vanos de 86 y dos de 42; el de Nagoya (176 m.) y el Setagawa (con cinco vanos de 46 m. para ferrocarril). También está en construcción por los ingleses el de Kingston, en Glasgow, con tramo central de 144,50 m. de luz.

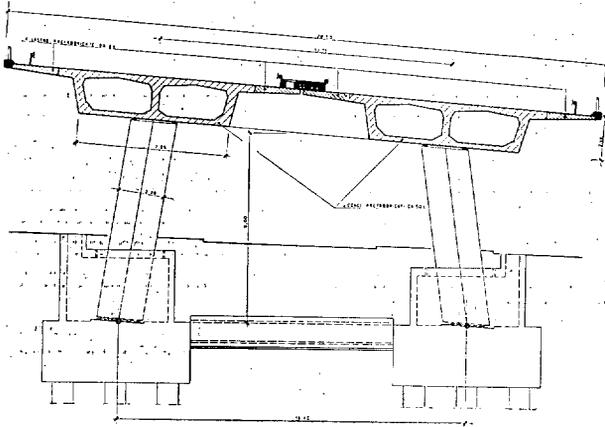
En los sistemas de prefabricación tenemos los de lanzamiento de vigas y el de ejecución por dovelas prefabricadas montadas en voladizo. El procedimiento de las dovelas puede servir también para la ejecución previa de las vigas que se lanzan, o bien para colocarlas sobre andamios, dando continuidad al conjunto mediante las unidades de pretensado. A este último sistema pertenece el puente curvo de Saint Denis en el distribuidor de la Puerta de París, de una longitud de 366 m., distribuida en ocho vanos: $39 + 6 \times 48 + 39$, con anchura de 28,50 y una pendiente transversal del 7 por 100 debida a la curva. La curvatura impidió construir por avance de dovelas en voladizo, y estas se colocaron sobre andamio en la longitud de un vano transportadas en carro sobre el mismo. El peso era de 50 Tn.

En el sistema de montaje de las dovelas, a cuyas realizaciones en España hemos pasado ya revista, tenemos su adopción en naciones tan reacias a ello como Alemania, donde se construyó el año pasado el primer puente de este sistema por la empresa Hochtief A. G.: el puente de Epfach, sobre el Lech, con tres vanos: $31,00 + 68,00 + 45,00$, subdividiéndose el central en dos ménsulas de 23,00, sobre las que se lanzó un tramo de 22 m., que se unió rigidamente a una de las ménsulas. A excepción de dicho tramo, todo se montó por dovelas en voladizo con peso de 32 Tn.

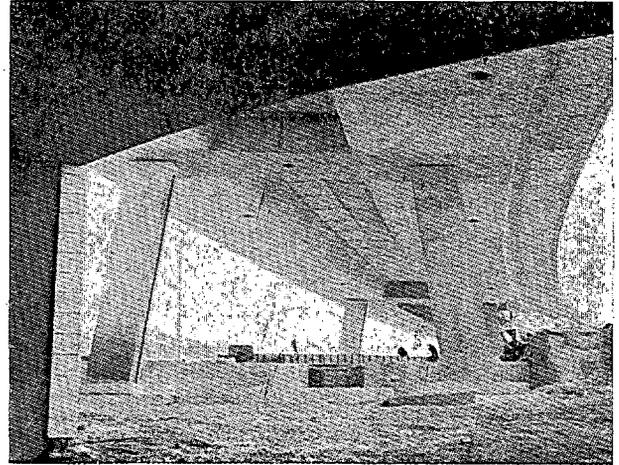
Ya nos hemos referido a la realización del puente de Nusle, en Checoslovaquia, con vanos de 115,50 m. de luz para carretera y ferrocarril. También se está construyendo en Holanda el puente de Brielsche, sobre el Maas, con vano central de 114 m.

VIADUCTO DE SAINT DENIS, PARIS

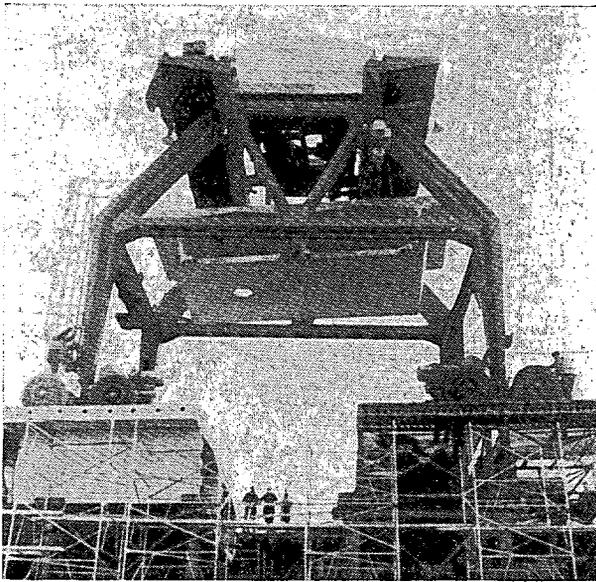
39 + 6 × 48 + 39



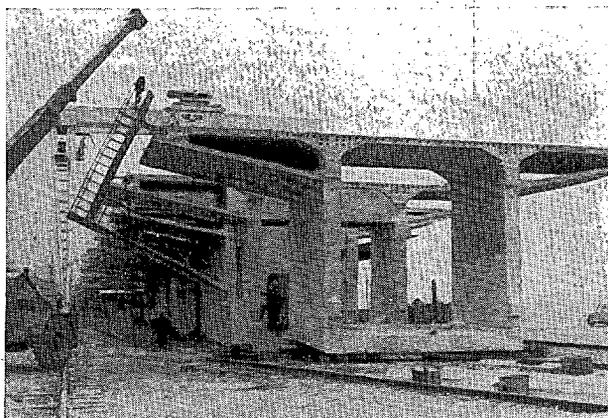
Sección transversal.



Vista inferior.

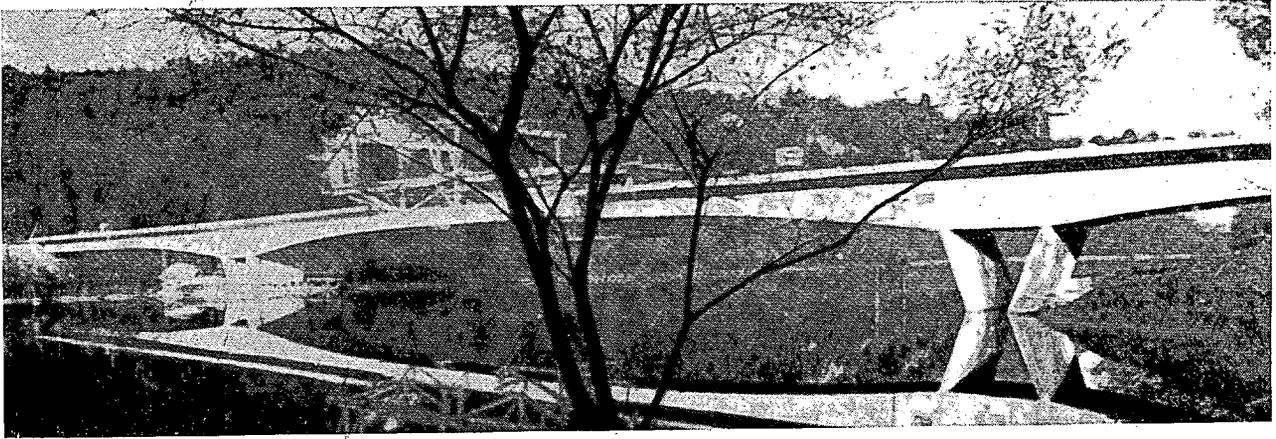


Traslado de una dovela.



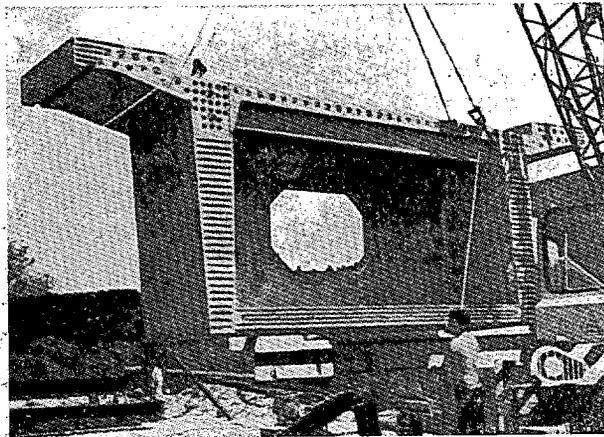
Viaducto de la autopista del lago Lemán (Suiza).

PUNTES CONSTRUIDOS MEDIANTE DOVELAS MONTADAS SOBRE ANDAMIO

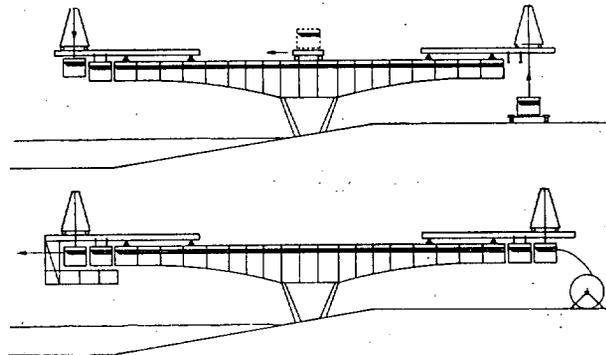


Vista del primer puente alemán construido por dovelas en voladizo.

31 + 68 + 45



Doveia de 32 Tn.



Esquema del avance de dovelas.

Por último, la prefabricación puede utilizar en dinteles continuos el sistema constructivo clásico en puentes metálicos de ir construyendo en la margen o sobre la misma explanación el dintel definitivo, de modo que no haya nada más que empujarlo para que llegue a su posición definitiva sin salirse de su alineación, utilizando su capacidad resistente complementada con artificios provisionales, para ir soportando su propio peso, en situaciones provisionales más desfavorables que las definitivas en muchas de sus secciones, ya que ha de ir circulando sobre las pilas definitivas, invirtiendo sucesivamente el sentido de las flexiones en toda su longitud.

La primera realización y de gran envergadura fue el puente del Caroni de Leonhardt, donde introdujeron pilas intermedias y se cambió al final la forma del elemento único de pretensado. Se ha vuelto a utilizar el año pasado para el viaducto del Semorile, en la autostrada Génova-Sestri, con proyecto de T. Konc, son cinco vanos de $41 + 3 \times 49 + 41$ m. sobre pilares con altura hasta 74 m. La organización transversal en dos cajones trapeziales independientes con vuelos laterales, permitió construir cada uno independientemente por dovelas, que se iban empalmado antes del lanzamiento, el cual se hizo en etapas sucesivas, sin esperar a integrar toda la longitud. Además, se redujo el peso suprimiendo en una primera fase la base superior del trapecio, con lo cual el dintel era como una lámina plegada abierta de cinco diafragmas con tirantes que enlazaban los dos vuelos del cajón. Se utilizó un refuerzo provisional de cables externos sobre torres en la zona frontal, así como el clásico pico metálico de avance.

Este sistema constructivo es particularmente interesante en acueductos cuando tenemos caja de sección trapezoidal abierta, que permite construir el dintel dentro del canal anterior y transportarlo por dentro de él para lanzarlo a su posición definitiva y hacerlo descender al final. Como la sobrecarga de agua es muy grande relativamente al peso propio, las situaciones accidentales de lanzamiento son menos desfavorables que en un puente de carretera. Nosotros lo hemos proyectado para el gran acueducto del Alcanadre en los riegos del Cinca.

Arcos. — En puentes de arco está en proyecto y con realización en un futuro próximo una luz de 320 m. para el puente de Dubrov-

nik, en Yugoslavia, ampliando la realización del puente de Shibenik en el mismo país, del cual nos ocupábamos en el artículo anterior. Se llevará a cabo también por voladizos sucesivos con dovelas de 7 m. de longitud, que se llevarán por flotación, elevándolas con grúa capaz de 100 Tn., recogiendo las extremidades con cables en abanico desde una torre apoyada en la orilla. Se utilizarán gatos planos para modificación de esfuerzos, gatos que se mantendrán en obra durante meses para corregir los efectos desfavorables de fluencia y retracción.

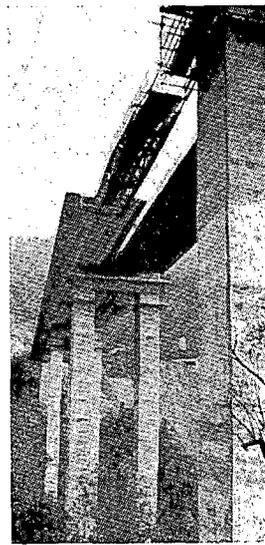
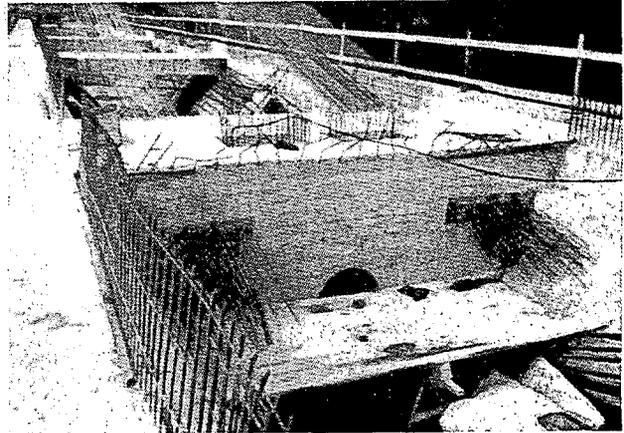
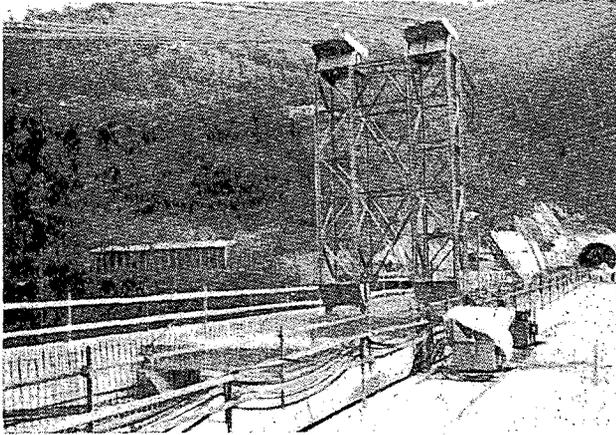
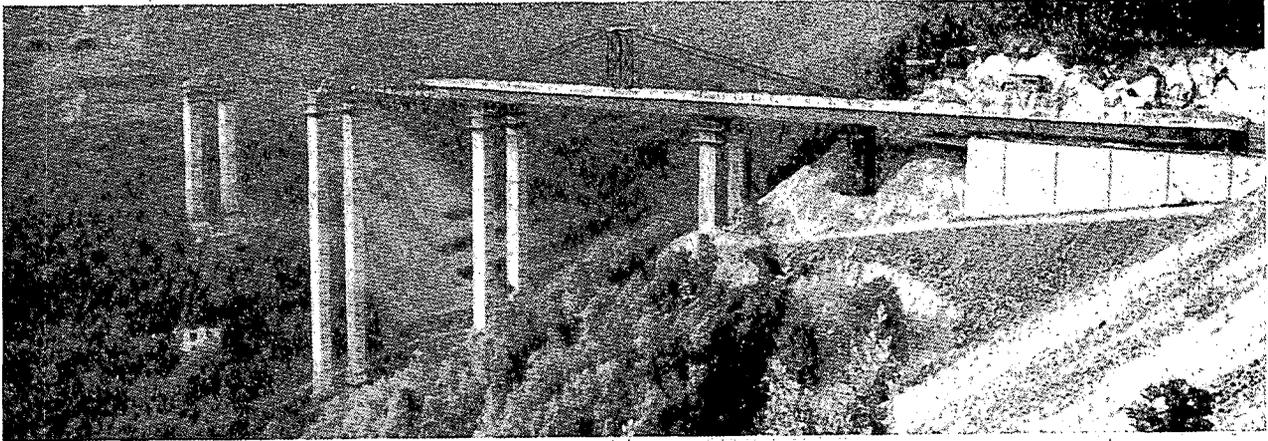
Tramos colgados. — En el pasado año entró en servicio el viaducto sobre La Polcevera, terminal de la autopista Génova-Savona, que se había comenzado en el año 1963 con proyecto de Morandi; adaptando al caso las soluciones estructurales del puente de Maracaibo, tanto en lo que se refiere a los tramos principales, que son tres con luces de $142,65 + 207,88 + 202,50$ m., como a los tramos de acceso con pilares en V y seis vanos de 73,20, más dos extremos con 43,00 y 68,69, análogos a los intermedios. La longitud total es de 1 202,45, y la anchura, 18,00 m. En todos los vanos hay un tramo intermedio apoyado sobre ménsulas de 36 metros con tablero de seis vigas que se prefabricaron y pretensaron. Las otras zonas pretensadas son los tramos y los cables del elemento básico principal, torre de la que cuelgan y donde apoyan dos grandes dinteles simétricos que recogen los tramos de 36 m. correspondientes a los vanos principales. Las unidades de pretensado normales son de 21 alambres de 7 (fuerza útil, 72,5 Tn.), y las que forman los cables son 12 tréboles de media pulgada. El hormigón con una característica de 470 kilogramos por centímetro cuadrado trabaja a 185 al pretensar y a 143 en servicio, y el acero 135/165 a 120 Kg./mm.² inicial y 90 en servicio.

Con relación a Maracaibo, se ha desvirtuado en cierto modo la geometría del elemento torre, formada por dos triángulos encontrados, delta y nabla, al tener que recortar el ángulo inferior, que forma nabla, para facilitar el tránsito a través de la torre. También se ha disminuido la longitud del tramo intermedio de 46 metros a 36, lo que desnivela la proporción ménsulas-tramo apoyado de los vanos principales, no sólo en luces 36 a 46, sino también en cantos: 2,25 a 4,50. Una mejora importante

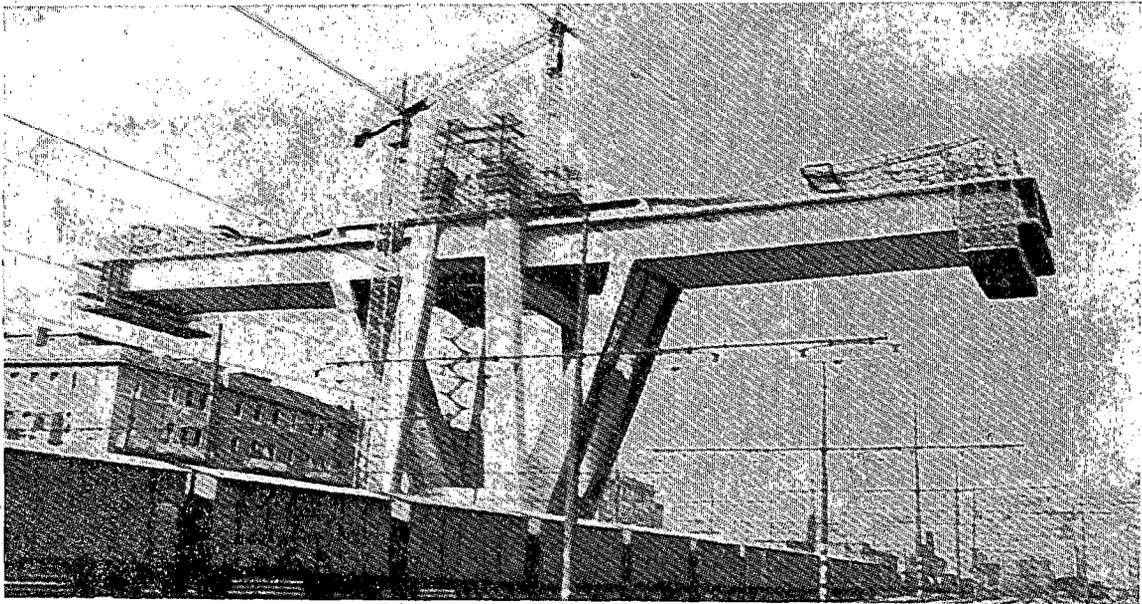
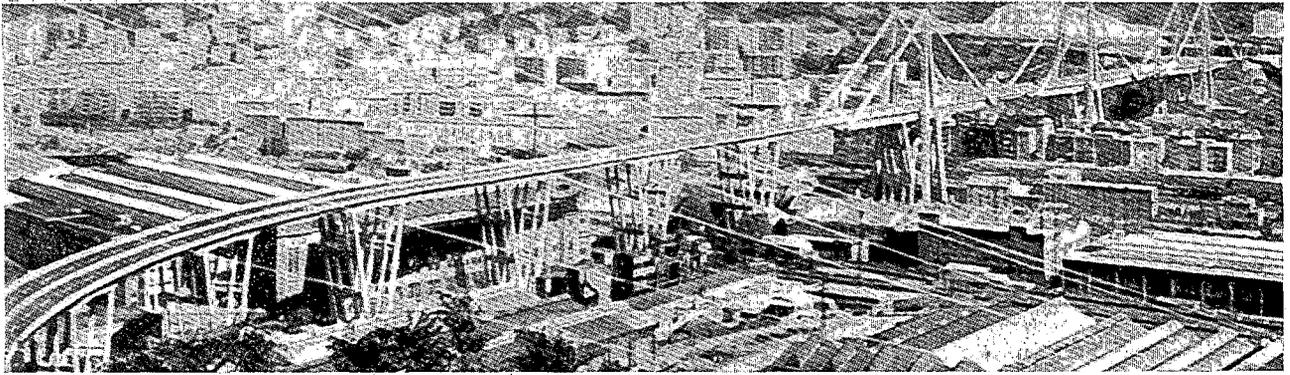
VIADUCTO DEL FOSO SEMORILE, EN LA AUTOSTRADA GENOVA-SESTRI

41 + 3 × 49 + 41

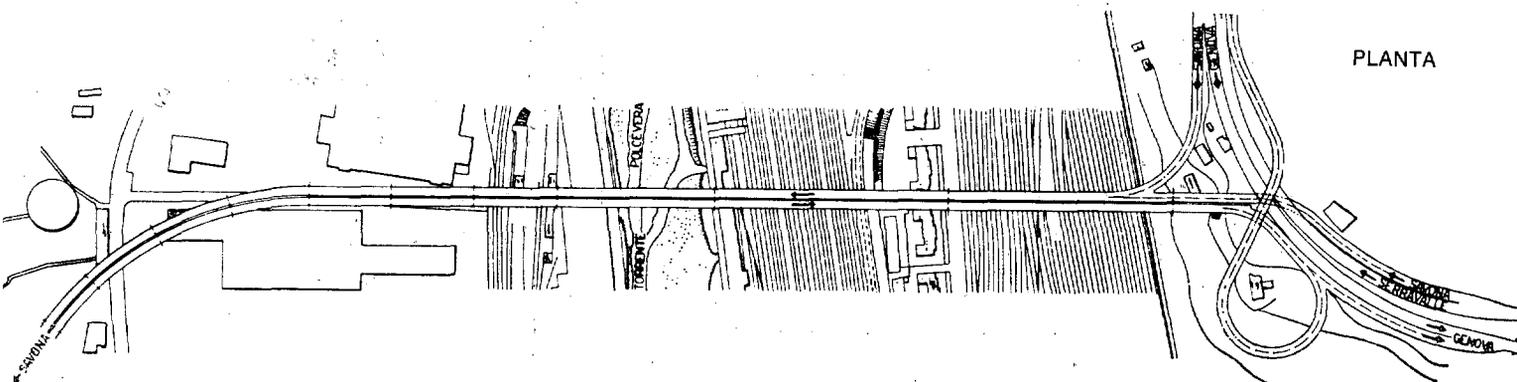
DEL FAVERO & T. KONZ



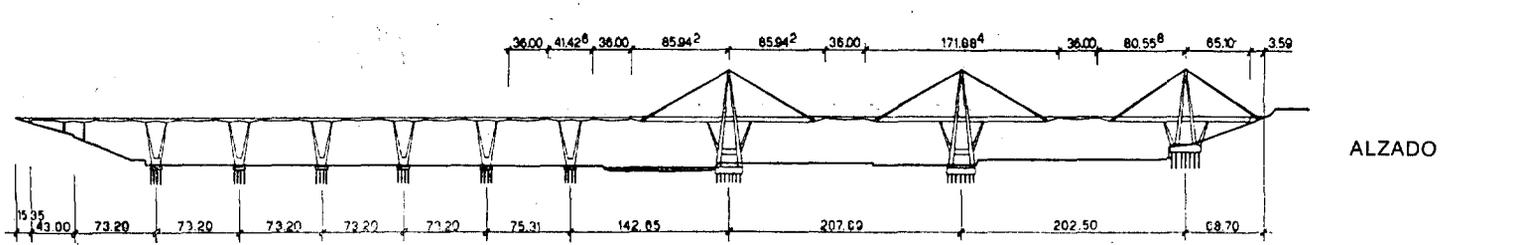
Diversas vistas del lanzamiento integral del tramo.



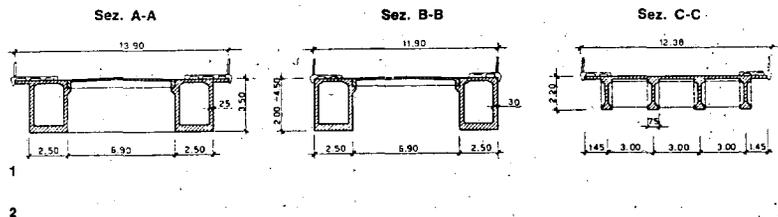
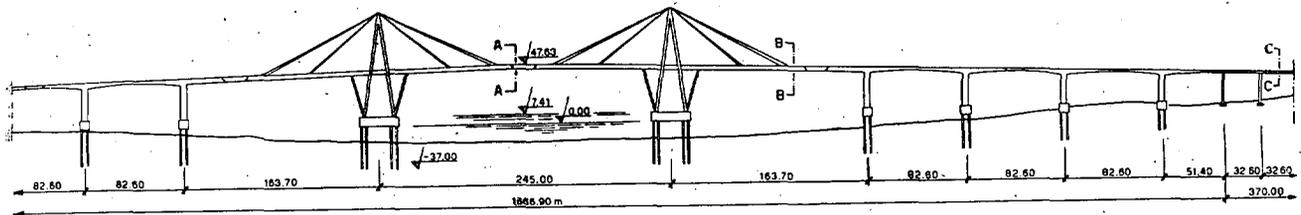
Detalle constructivo de una de las pilas principales.



PLANTA



ALZADO



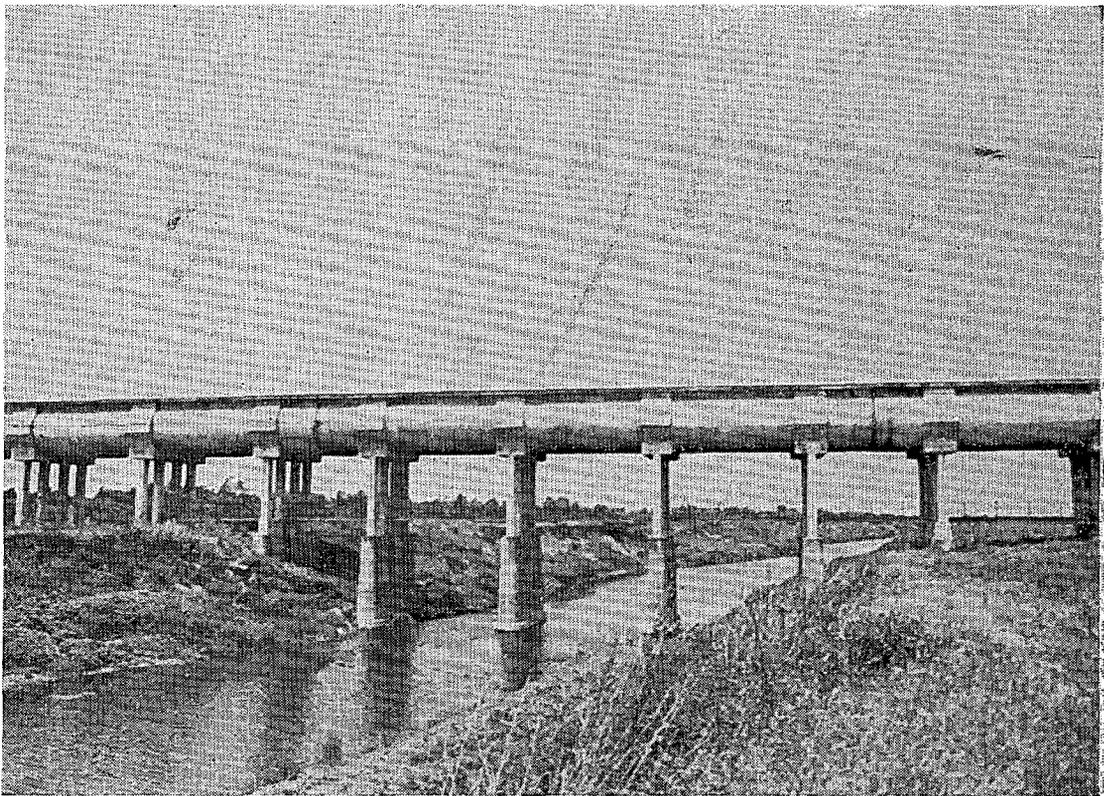
en la construcción ha sido la de ejecutar por voladizos sucesivos, son secciones de 5,50 metros de longitud los dos avances simétricos de los dinteles principales, ayudando con unidades provisionales colocadas simétricamente sobre alzadas en el eje del pilar.

El mismo tipo de estructura se ha adoptado en el proyecto de un puente sobre el río Paraná, junto a la ciudad de Corrientes, en Argentina, con 220 m. de luz, que va a construirse con proyecto de Courbon, elegido en concurso internacional.

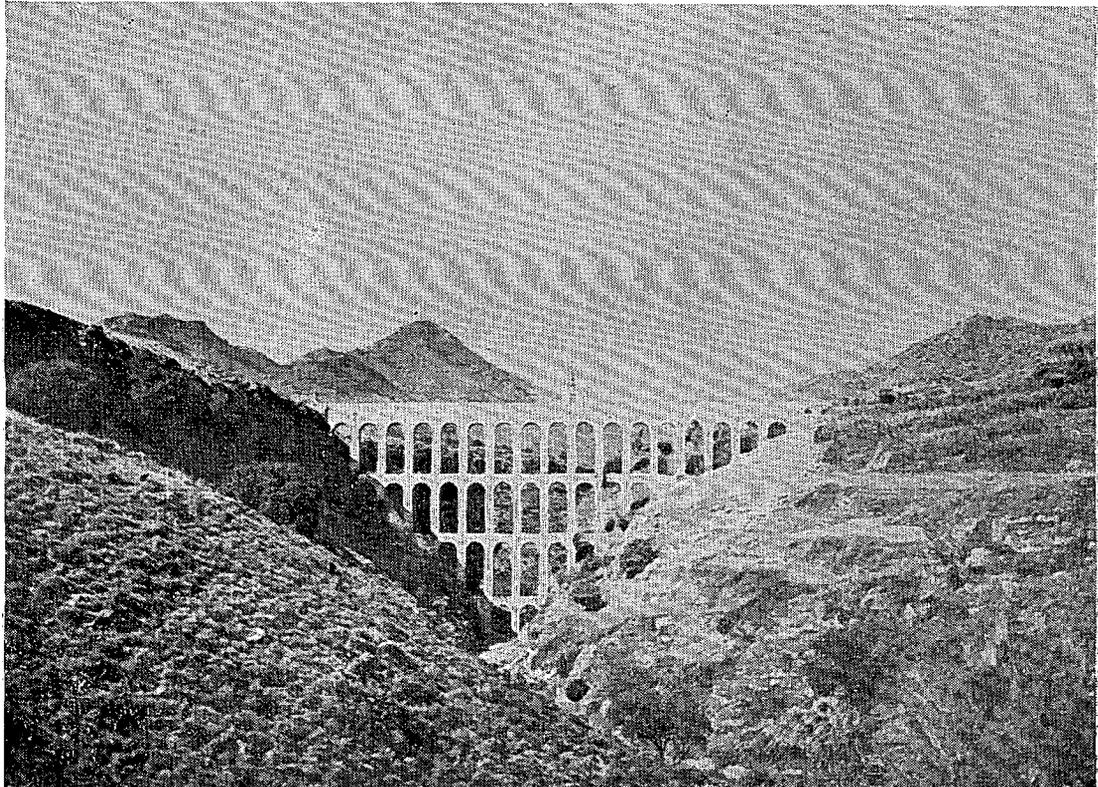
En cambio, el mismo Morandi, para otros dos puentes sobre los brazos del Paraná, en Zárate, y Brazo Largo, cerca de la desembocadura del río, utiliza un dintel de estructura mixta: hormigón pretensado y acero con luces de: 280 + 340 + 280, de tablero doble, carretera y ferrocarril colgados mediante cables rectos pretensados como en Maracaibo, de torres de hormigón también pretensado de 95 m. de altura.

Estas torres difieren de las anteriores y consisten en cuatro pilares rectangulares verticales, enlazados en cabeza y por debajo del tablero y cimentados en un macizo común de hormigón, que recoge pilotes de 2 m. de diámetro y unos 50 m. de longitud. Los viaductos de acceso serán de hormigón pretensado con tramos continuos sobre pilas rectangulares en cajón.

Este tipo de estructura, con cables rectos que soportan desde las torres ménsulas simétricas, las cuales a su vez sustentan un tramo simple central, se utilizó por primera vez en el acueducto de Tempul, proyecto de Eduardo Torroja construido en 1925-26. Los cables rectos no sólo caracterizan las soluciones genuinas de los puentes colgados pretensados, sino que se han introducido por Leonhardt en los puentes metálicos, colgados de cables paralelos, solución de Dusseldorf, o en cables radiales, solución de Colonia, ambos sobre el Rin. Además, las condiciones de anclajes de extremidades han quedado mejor resueltas a través de las disposiciones propias de las unidades de pretensado.



Canal del bajo Guadalquivir (cruce con el río Guadaira).



Acueducto para el abastecimiento de aguas de Nerja (Málaga).