

## LOS PUENTES DE FABRICA DURANTE EL AÑO 1964

Por CARLOS FERNANDEZ CASADO

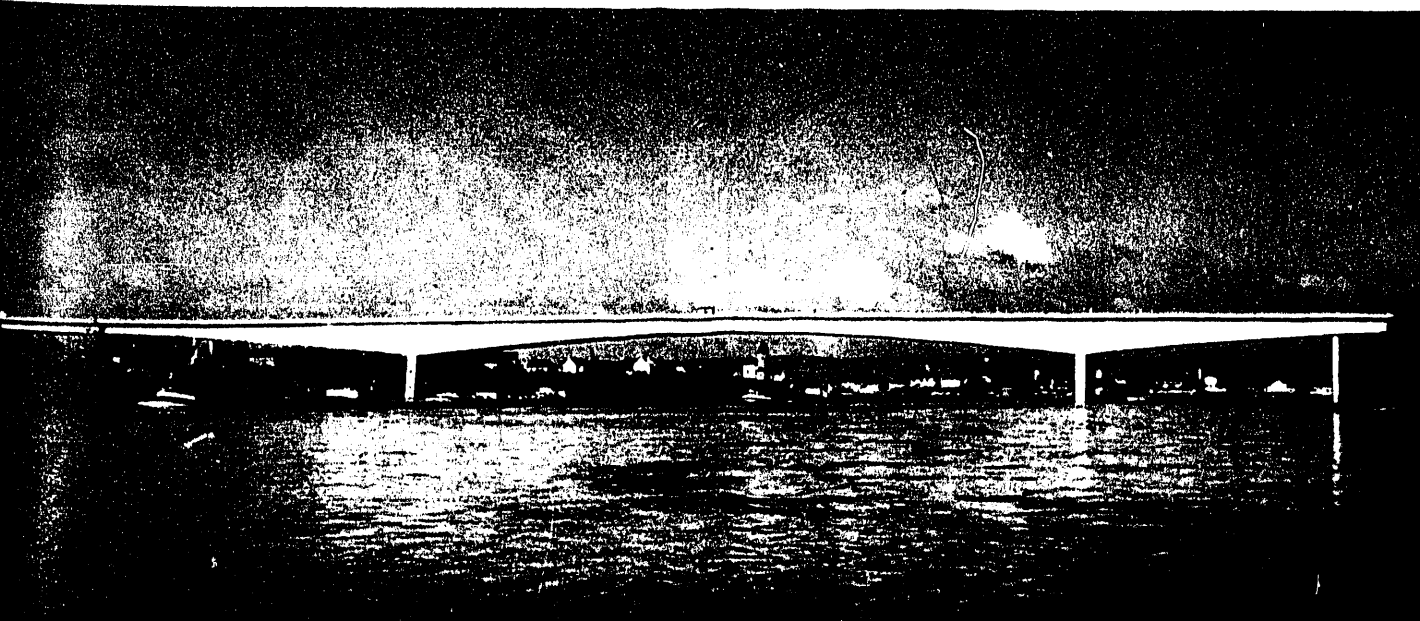
Ing. Dr. Profesor de Puentes de Fábrica E.T.S.I.C.C.P.

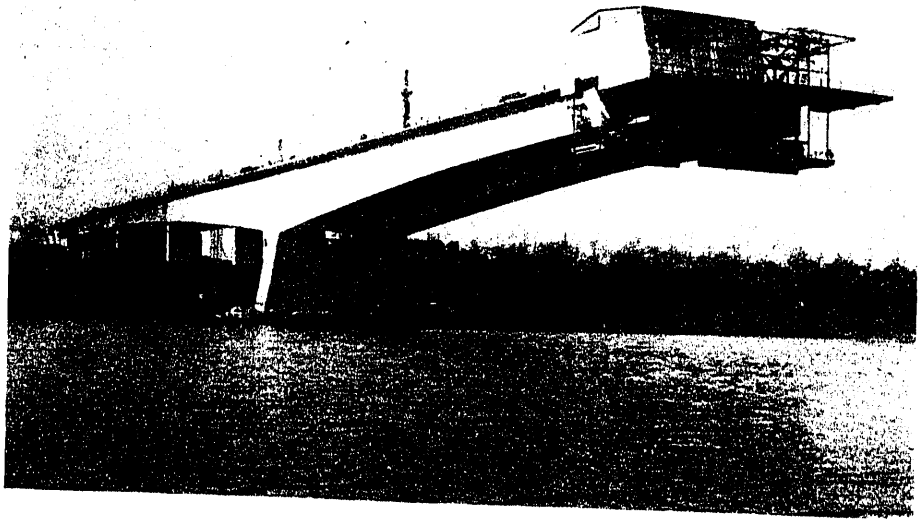
*El profesor de Puentes de Fábrica de nuestra Escuela Técnica Superior, continúa la serie de artículos sobre la evolución del tema de su asignatura en el transcurso de un año.*

En este año el avance en el sentido de ampliar el horizonte, corresponde a los puentes de tramo recto, donde ha vuelto a batirse el record absoluto con el puente de Bendorf que tiene 208 m. de luz teórica y 202,40 m. de luz libre, y decimos que se ha vuelto a superar el record, pues ello corresponde a esta segunda homologación, ya que el de luz teórica sigue correspondiendo a Maracaibo con 235 metros.

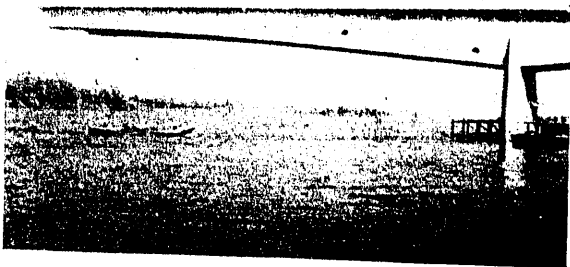
El puente de Bendorf, del cual ya hemos dado referencia en los artículos anteriores, salva el Rin a 8 Km. de Coblenza, dando paso a la autopista Colonia-Francfort por Montabaur-Westerbald, correspondiéndole a la zona de puente propiamente dicha una longitud de 524,50 que se descompone en siete vanos de:  $43 + 44,25 + 71 + 208 + 71 + 44,25 + 43$ . El ancho es el normal en puentes de autopistas, con dos calzadas de 7,50 m., mediana de 3, aceras de 1,72 y 3,14; dos fajas de circulación

El puente de Bendorf sobre el Rin (terminado)

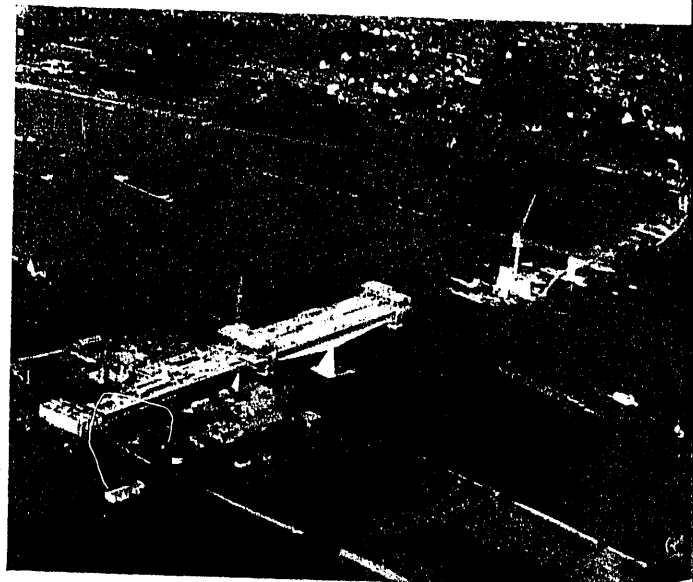




Etapa final del voladizo de la orilla izquierda.

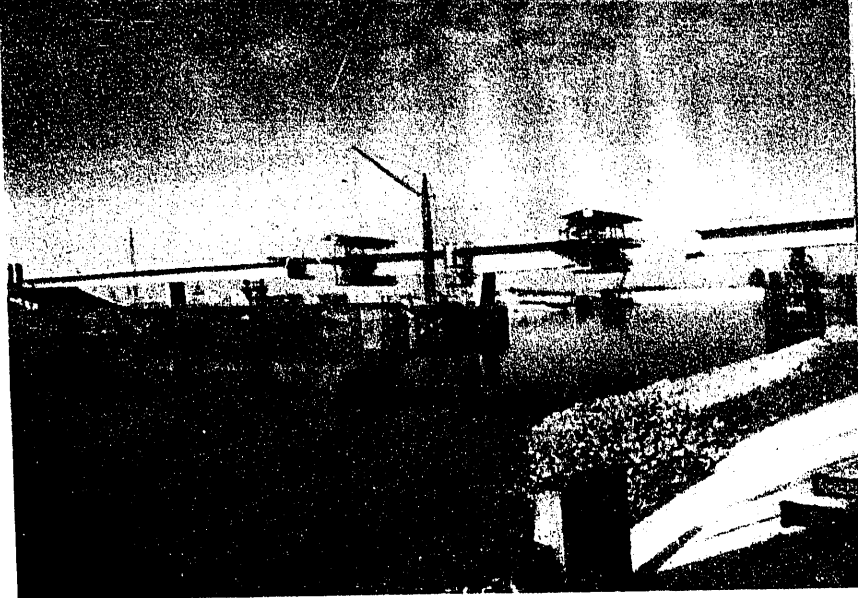


Un voladizo de 104 m.



Vista durante construcción.

Puente de Manheim sobre el Rin.  
Luz máxima: 100 m.  
DYWIDAG



lenta de 2,50 y cuatro fajas de separación de 0,75. En total, 30,86 m., que se materializan en un tablero cortado por el eje a todo lo largo del puente.

Cada uno de los dos dinteles adosados se organiza en viga cajón única con altura variable desde 4,40 m. en sección central hasta 10 m. sobre los apoyos. La armadura de pretensado longitudinal es de barras Dywidag de 32 mm. de diámetro, llegando hasta un número de 560 sobre los apoyos intermedios. Todas van en cara superior complementándose para la absorción de flexiones por una armadura de alma con barras a 45°. La tercera armadura de pretensado es la transversal con barras de perfil senoidal.

Los tres vanos centrales forman una estructura de dos células T con articulación central de libre deslizamiento, prolongándose el dintel en vanos continuos por ambos lados.

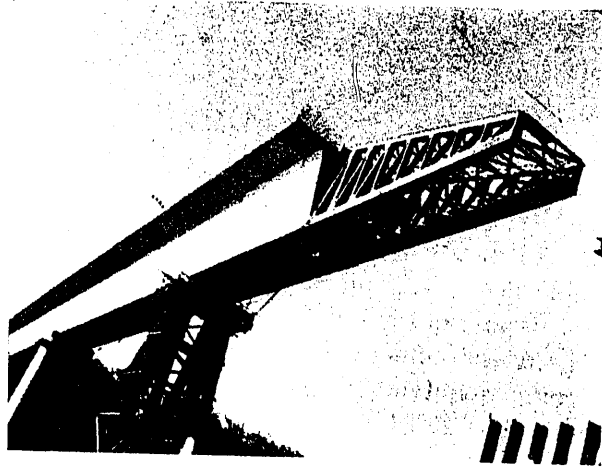
La construcción de los voladizos del vano principal y sus vanos colaterales se ha llevado en dos etapas, partiendo directamente de pilas, terminando primero los de la pila izquierda y pasando entonces los encofrados móviles a la otra pila. Como se avanzó hacia los dos lados y en cada uno simultáneamente en los dos cajones, se tenían cuatro tajos de trabajo defasados de dos a tres días, con lo cual se alcanzó una continuidad de equipos en las distintas fases que son: traslado de andamio y acoplamiento a las nuevas dimensiones de la sección, colocación de la armadura, hormigonado continuo con pervibración, tesado de las barras que se anclan y desencofrado. En marzo de 1964 se había terminado el voladizo lado izquierdo que se inició en julio de 1963, llegándose al enlace de ambos voladizos en agosto último, y a terminar los tramos de acompañamiento en noviembre. El puente principal se ha construido por Dyckerhoff & Widmann con la colaboración de Grun & Billfinger, con sujeción al proyecto de Finsterwalder, que ganó el concurso de proyecto-construcción. Todavía no está abierto al tráfico, lo visitamos en el mes de abril cuando ya estaba en marcha el segundo par de voladizos.

La construcción por voladizos sucesivos sigue siendo el método constructivo más adecuado a las luces de una cierta importancia. Puede decirse que a partir de los 100 m. es difícil competir con él. Un intento en este sentido lo tenemos en el puente del Caroní (Venezuela), proyectado por Leonhardt y terminado en el año en cues-

PUENTE SOBRE EL RIO CARONI  
(VENEZUELA)

LEONHARDT-Tuven

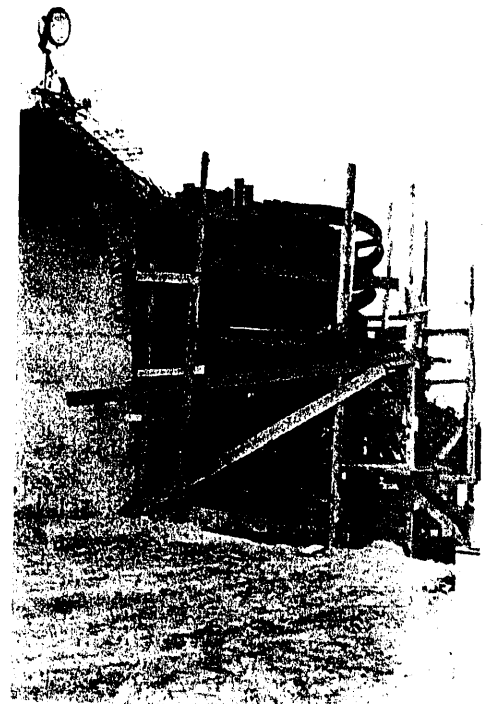
Vista durante el lanzamiento.



Extremidad metálica  
para el lanzamiento  
del dintel.



Interior del dintel  
durante el cierre  
de juntas.



Extremidad del  
dintel con las guías  
para la revuelta de  
los mazos de pre-  
tensado.

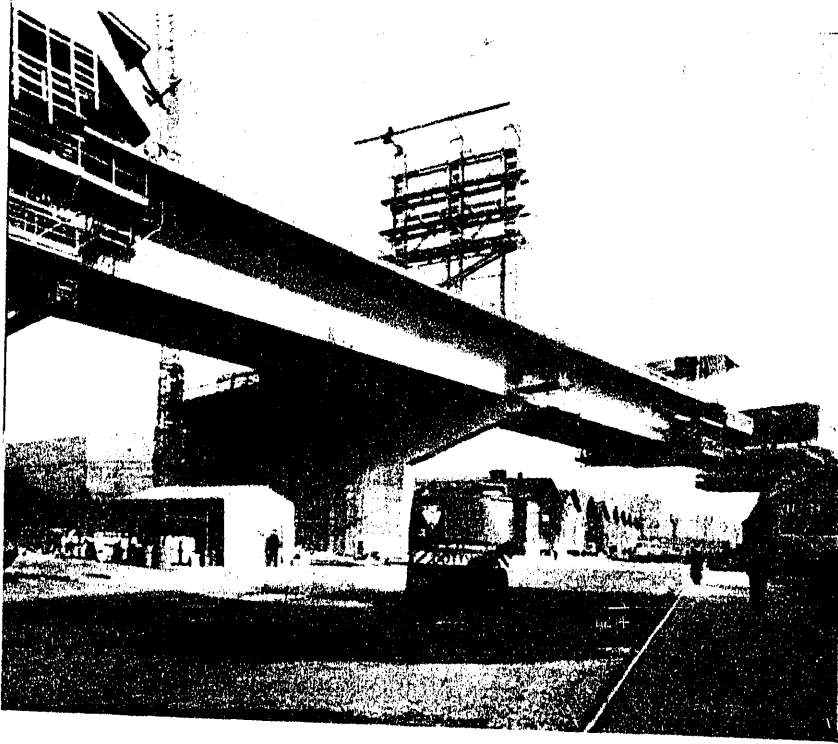
ción. En ambos sistemas existe una interdependencia ejemplar entre lo estructural y lo constructivo. En el de voladizos sucesivos las unidades de pretensado, situadas en la cara superior, van anclándose en las juntas de construcción con perfil recto y en condiciones de máxima eficacia, tanto en transmisión de pretensado que es isostático, como en rotura, ya que tenemos el máximo brazo de palanca para el par resistente de las tensiones; las flexiones son de un solo sentido en carga permanente, decisiva en luces grandes, y la distribución de alturas va de acuerdo con las condiciones de mínima carga permanente e igual resistencia a la flexión. El pretensado mediante barras roscadas que se anclan o se prolongan con sencillez, permite llegar a una atomización extrema en la transmisión de las fuerzas de pretensado. La obra muerta es mínima, pues se suprime totalmente el andamio y el encofrado se reduce a una parte muy pequeña de la superficie total.

Por el contrario, en el sistema de pretensado Baur-Leonhardt las unidades de pretensado forman un bloque que se prolonga íntegro de extremidad a extremidad, siguiendo las ondulaciones correspondientes a la alternancia de flectores. La transmisión del pretensado se hace de una sola vez y la mejor distribución del material es la que da sección constante a todo lo largo del dintel. En estas condiciones la obra muerta del puente tiene que ser muy costosa, en cuanto las luces parciales y la longitud total del puente son importantes. Contra esta servidumbre ha reaccionado el sistema constructivo del puente del Caroní, recurriendo a la prefabricación, construyendo previamente, el cuerpo de hormigón del dintel mediante dovelas iguales, que se cosen por el mazo único de pretensado dispuesto inicialmente en alineación recta provisional a la altura del centro de gravedad, lo que da un pretensado centrado. De este modo, la procesión de dovelas previamente alineadas en su correspondiente dirección y solidarizadas por el cable, forma una sola unidad indiferenciada que se empuja hasta su posición definitiva, deslizando sobre las propias pilas y otras auxiliares intermedias. Al llegar a dicha posición el mazo de cables rectos inicial se convierte en poligonal adaptado a la oscilación de los flectores. La obra muerta es también mínima en encofrado, pero exige pilas intermedias. Además es preciso tener una explanación recta en la alineación del puente, que en el mejor de los casos, es preciso rellenar después para obtener la explanación definitiva del camino. El deslizamiento de las 10.000 toneladas del dintel desplazado se hizo con gatos contra uno de los estribos, habiendo conseguido un coeficiente de deslizamiento posible, gracias al empleo de las placas de Teflon.

Tuve la suerte de asistir a la construcción de la primera dovela en agosto de 1962; el lanzamiento terminó en febrero de 1964 y la apertura al tráfico en la primavera de este mismo año. Las dificultades correspondientes al movimiento de tantas toneladas y el reajuste del cable a su perfil definitivo se resolvieron con pleno éxito.

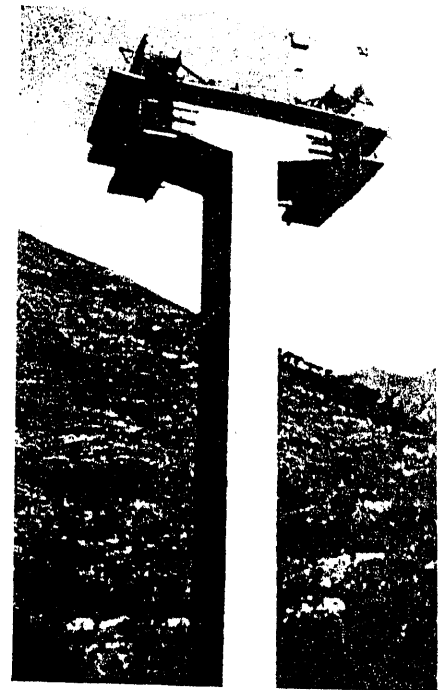
En puentes construídos por voladizos sucesivos se han terminado los de Alnö, en Suecia, con tres vanos centrales de 134 m. de luz; el de Mannheim, sobre el Rin, con vano máximo de 100 m. y sección de cajón único para ancho de 17,65 m.; el viaducto urbano de Shibuya, en Tokio, con seis vanos, el mayor de 81 m.; el viaducto urbano del Zoo, en Colonia, con anchura de 37 m. y luz máxima de 98,80. En Italia se ha comenzado el puente Nervi, con pilas hasta 105 m. de altura y luces de 100 metros.

Este sistema puesto a punto por Finsterwalder y desarrollado por la Empresa Dyckerhoff & Widmann, se ha universalizado construyéndose en todo el mundo. Además de los puentes que hemos citado, tenemos en Francia una serie con sistema de pretensado Freyssinet, siendo el más importante el de Ulúa sobre el Omonita, en Honduras, con vanos de 60 + 120 + 60, que es un puente de tramos ménsulas con

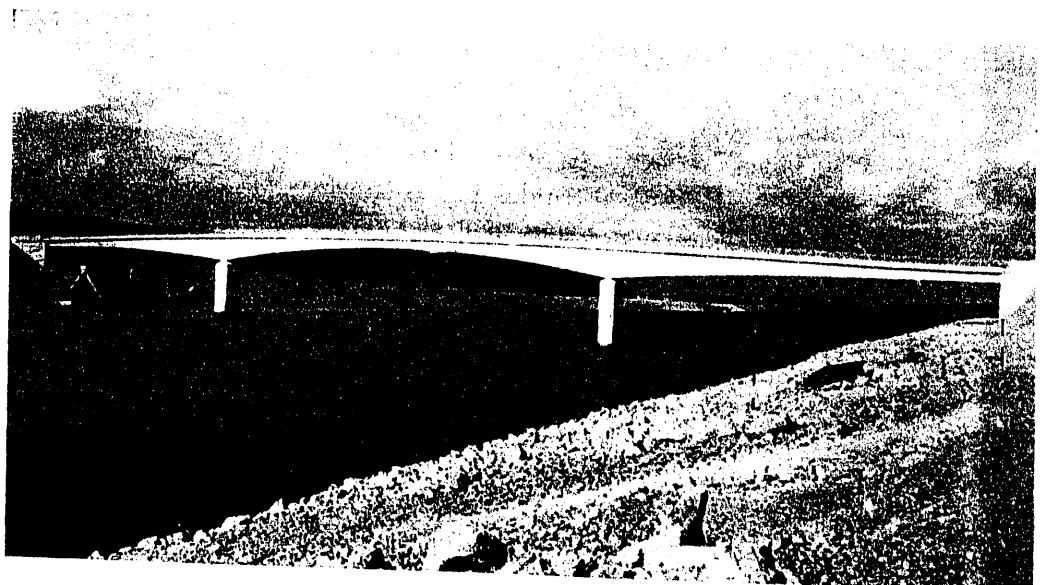


Viaducto del Zoo en Colonia.  
Luz máxima: 98,80 m.  
DYWIDAG

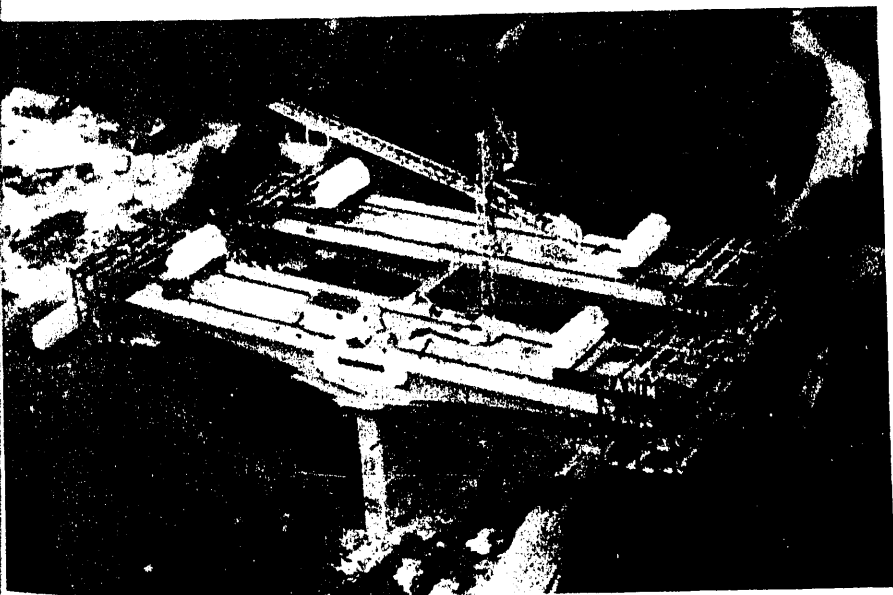
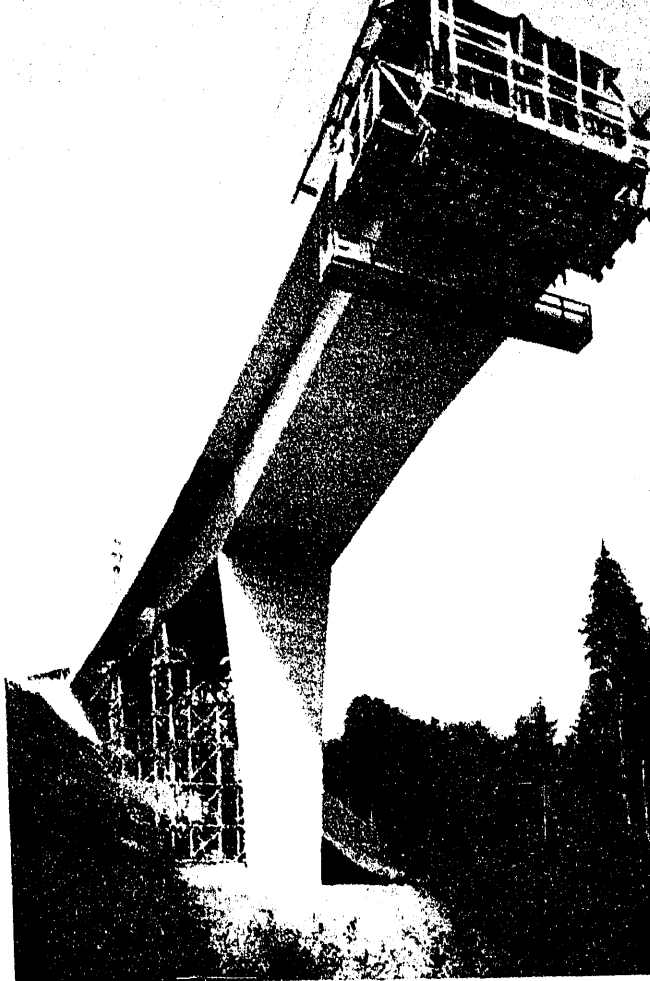
Puente de Nervi (Italia). Luz máxima: 100 -  
Altura máxima de pila: 105 m.  
DYWIDAG



Puente sobre el Canal de Charmes.  
Luces: 57,30 + 85,40 + 57,30 m.  
COURBON - S.G.T.M.



Puente sobre el Surge (Suiza).  
Luces: 18 + 82 + 48 m.  
R. HOFER



Viaducto del río Mules en  
la autopista de Laurentines  
(Canadá).  
Luces: 40 + 80 + 40 m.  
COURBON - S. E. E.

tramo sencillo central de 36 m., el cual se lanzó longitudinalmente. En el pretensado se han utilizado los cables Freyssinet de 105 toneladas de fuerza útil para el longitudinal, y barras de 26 mm. en el transversal.

Otros puentes de esta serie se han realizado por avance mediante dovelas prefabricadas que se iban corriendo al voladizo formado por las que ya se habían montado. Así ocurre en los puentes de Pierre Benite (56 + 88 + 56), Saget (4 x 77) y Choisy le Roi (37,50 + 55,0 + 37,50). El traslado de dovelas se hace sobre carrtones que avanzan por el mismo puente, mediante blondín, o por flotación cuando el río lo permite.

En Suiza se ha construído el puente sobre el Surge, con 48 + 82 + 48 cm. Proyecto de R. Hofer por el sistema clásico de avance del encofrado en voladizo sobre la parte construída.

Algunos ejemplares importantes corresponden a viaductos urbanos donde a veces se complica la situación de los apoyos intermedios, como ocurre en el del Zoo de Colonia, con todo el dintel apoyando sobre ménsula. Un tipo de viaducto de gran altura es el que surge en la restauración de las vías de comunicación inundadas por embalses, llegando a pilares de más de 100 m., como en el de Nervi, que reproduce los de España se tiene el de Alarza con pilas de 55 m., y se proyectan otros, como el de Iznajar, con 80 m. y los del Tajo y Almonte en Alconetar.

En Lisboa, para los accesos del puente del Tajo, se acaba de terminar un viaducto con 12 vanos de 70 m. de luz, proyectado por el profesor Courbon. Proyecto de este mismo ingeniero ha sido el puente de Charmes, construído por la Société des Grands Travaux de Marseille, con vanos de 57,30 + 85,40 + 56,30, realizado también por voladizos sucesivos pero avanzado el encofrado no en vuelo desde la parte construída, sino apoyado sobre torretas metálicas que iban por vía sobre terraplén que cortaba el cauce. Este mismo sistema se utilizó en el puente de Bettingen por Pollenky & Zöllner, que fué record de tramos rectos durante algún tiempo.

Como vemos, el sistema de los voladizos sucesivos se ha enriquecido con diversas modalidades de ejecución. Nosotros hemos utilizado el sistema de ejecución por dovelas en el puente de Almodóvar, sobre el Guadalquivir, que con sus 70 m. es la luz máxima de tramo recto en nuestro país, y se terminó en mayo del pasado año. El problema que nos habíamos planteado era reducir a un mínimo los medios auxiliares y hacernos independientes del río a partir de las pilas, previendo luces inferiores a 100 m., ya que en pocas ocasiones será necesario rebasar esta luz en los ríos españoles. Hemos utilizado dovelas de peso inferior a 8 toneladas, con sección cajón y longitudes de 1,50 metros, lo que nos ha permitido utilizar un sencillo blondín de esa capacidad de carga con las tornes instalados sobre los estribos del puente en ambas orillas. Como dato comparativo recordaremos que en el puente de Kramholmsky (ver artículo del año 1962), las dovelas pesaban hasta 160 toneladas y en los puentes franceses citados oscilan de 20 a 40 toneladas.

También se han terminado varios puentes de tramos rectos simplemente apoyados en la reconstrucción de la zona del Vallés, el de Buñuel sobre el río Ebro y el de San Juan del Puerto sobre el río Tinto (tres vanos de 35 m.).

En cuanto a los puentes de tramo recto de hormigón armado normal, sus ejemplares máximos han quedado congelados en luces aproximadamente mitad de las actuales en puentes pretensados. Los tramos simplemente apoyados están en los 33,00 metros, mientras que en pretensado se ha llegado a 70. En pórticos simples se enfrenta Smitz Park con 52,5 (1937), con el Dischinger, en Berlín, de 94,00 m. y año 1957. En puentes continuos tenemos el Jacques Boulouche, con 95,00 m. en dintel con-



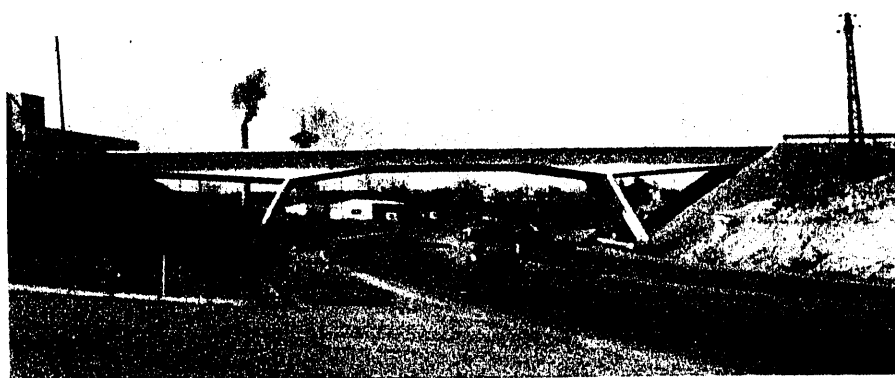
## PUENTES ESPAÑOLES



Puente de Almodóvar sobre el río Guadalquivir

Luces máximas: 35 + 70 + 35 m.

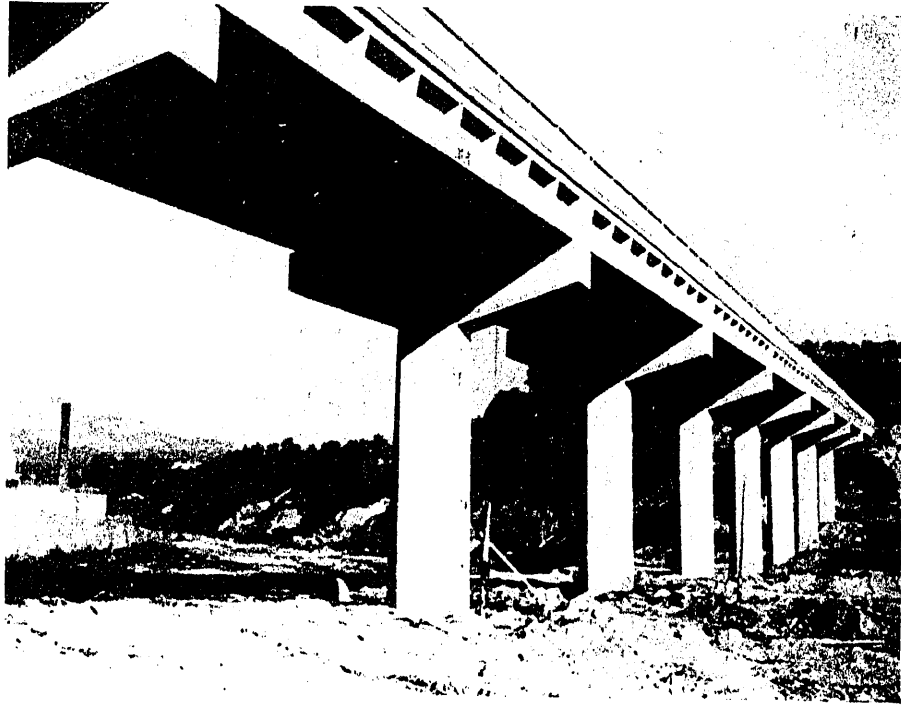
FERNANDEZ CASADO - Huarte



Viaducto de San Fernando en la autopista Madrid - Alcalá. Luz: 30 m.

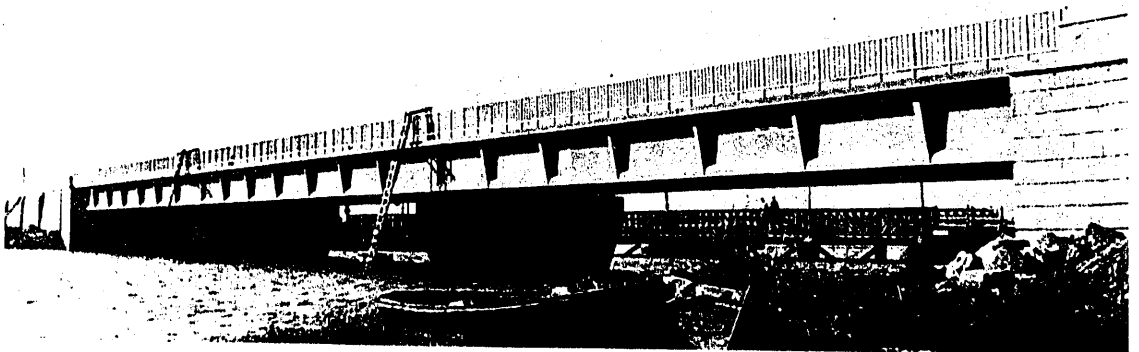
J. AGUIRRE - Agromán

## PUENTES ESPAÑOLES



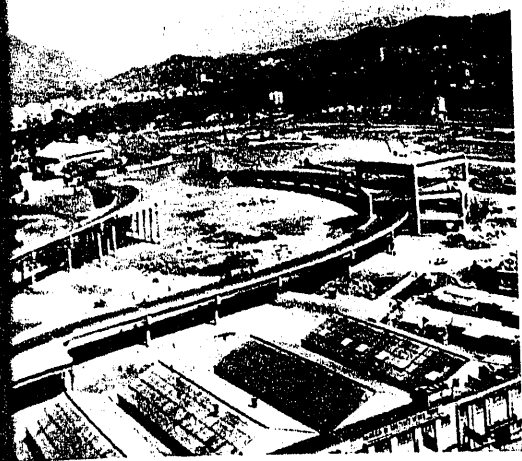
Puente de Ripoll en la reconstrucción del Vallés.  $10 \times 26$ .

T. MUR - Hidrocivil.

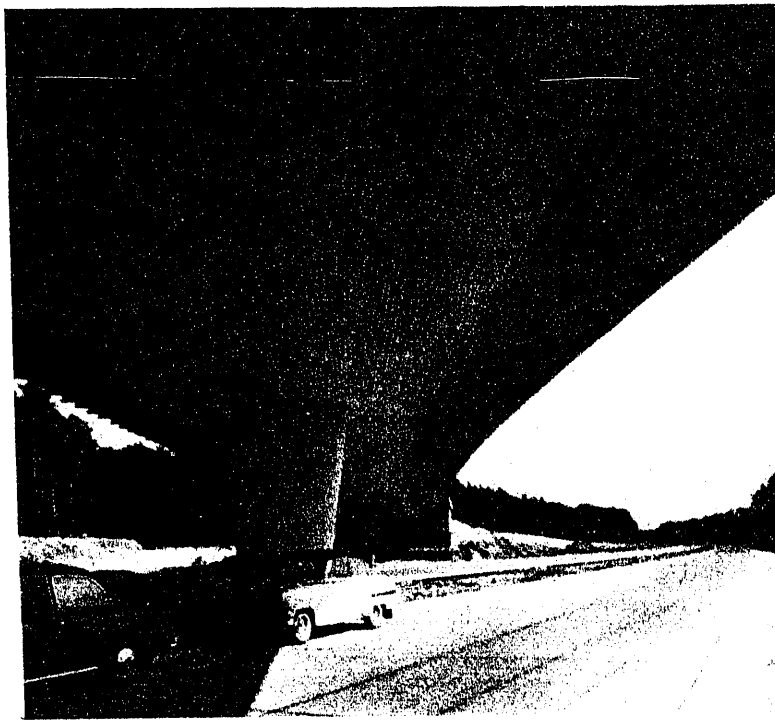


Puente del río Tinto en San Juan del Puerto.  $3 \times 35$  m.

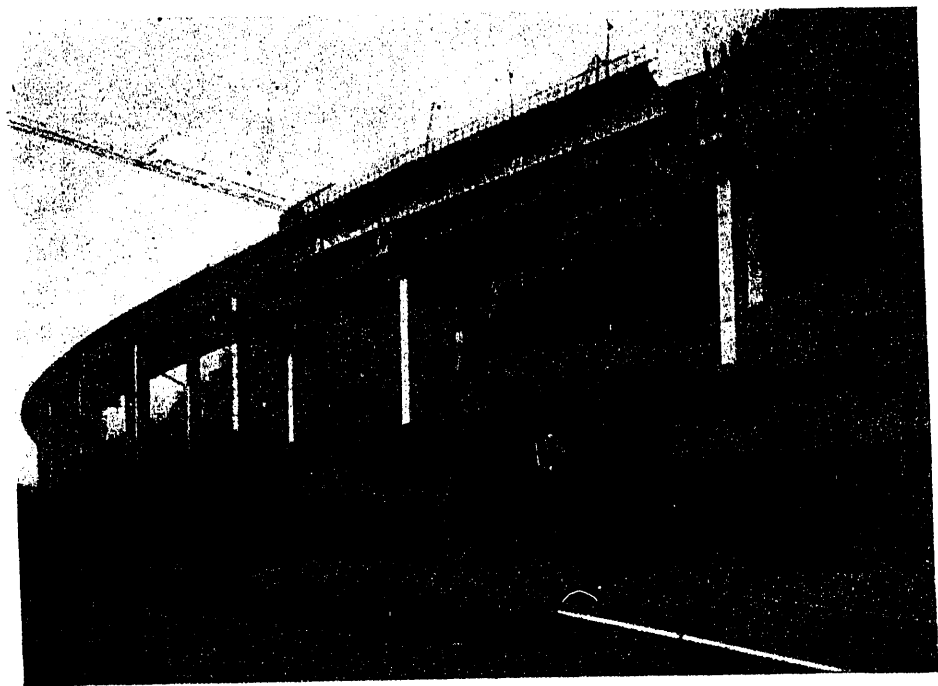
FERNANDEZ CASADO - Entrecanales.



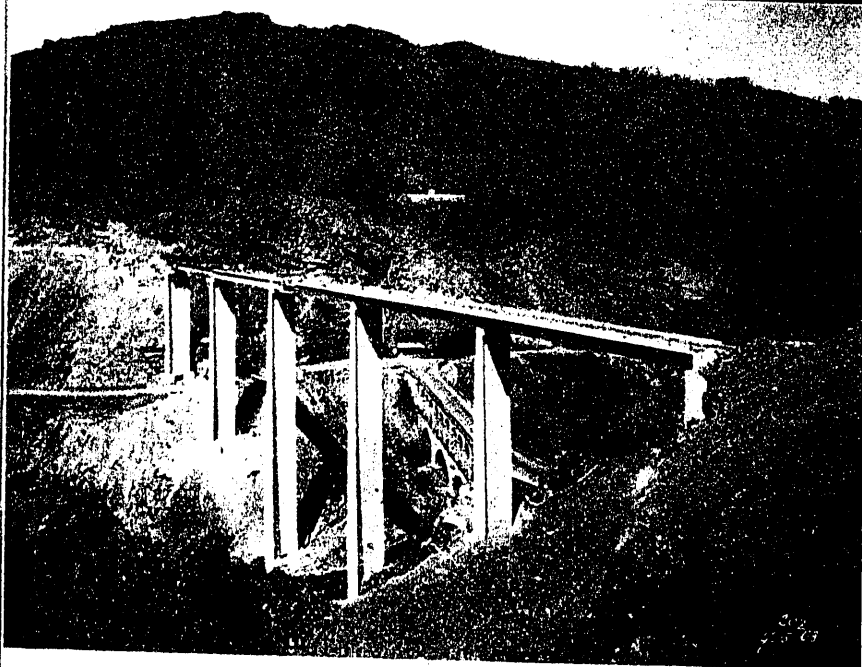
Nudo de autopistas de La Araña, en Caracas.



Cruce de autopistas a distinto nivel en Darmstadt-Hassloch.  
DYWIDAG



Viaducto de Krahanenberg.  
POLLENSKY & ZOLLNER

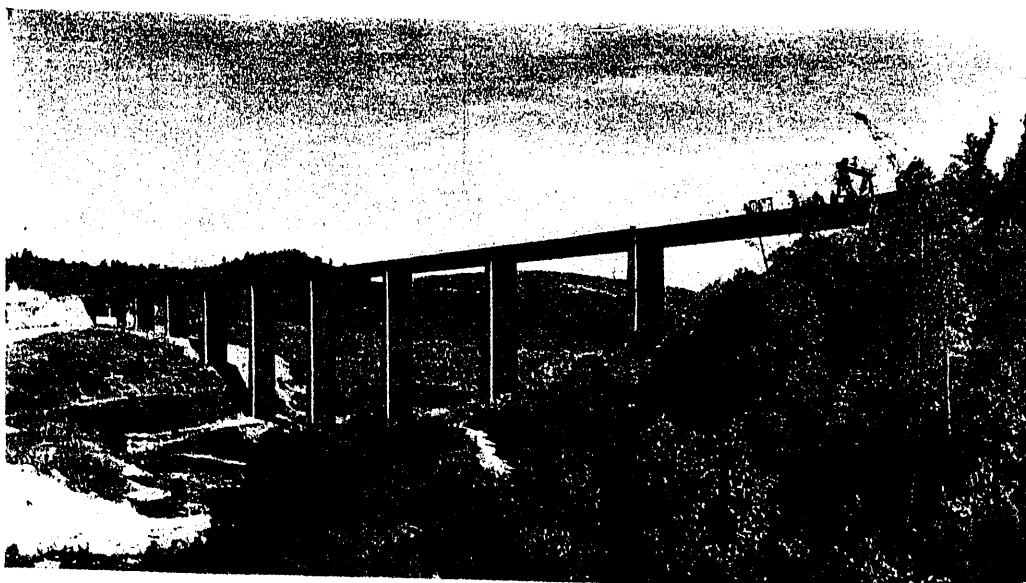


Viaducto Louis Philippe  
ESQUILLAN - Boussiron

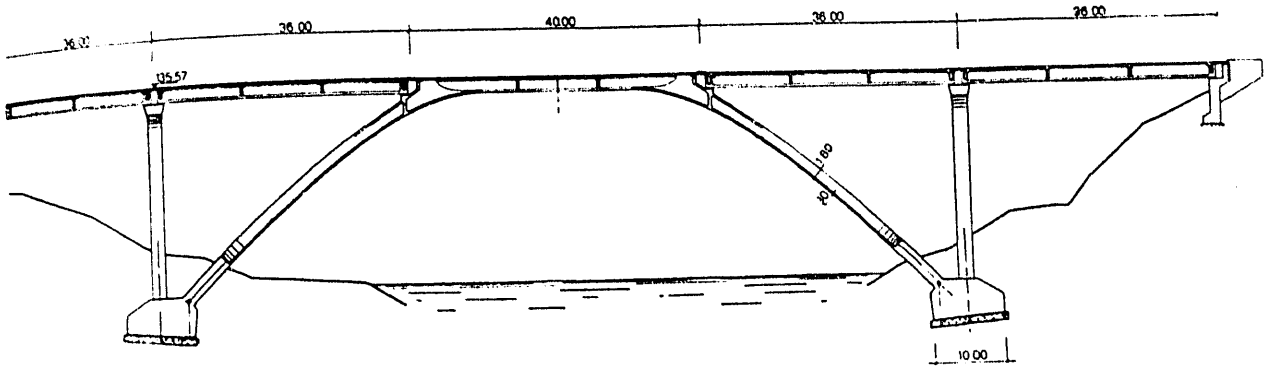
tinuo, y el Donzere-Mondragon con 100 en tramos ménsulas frente a Medway, con 152,40 y Bendorf con sus 208 metros.

Puede decirse que para luces superiores a 50,00 metros no interesa el hormigón armado normal, y descartando las soluciones de losa, no existe competencia posible en cuanto se trate de soluciones funcionales de altura estricta o soluciones constructivas de prefabricación. En tramos de losa el hormigón pretensado permite ampliar duplicando también los límites; por consiguiente, la verdadera competencia se re-

Viaducto del Pré Cloau  
COURBON - S.G.T.M.



## PUENTES DE ARCOS



Puente sobre el Arno, en Bradano. Luz 111 m. S. ZORZI.

duce a luces menores de 20,00 m. donde la reducción de canto es pequeña y los errores relativos en la posición de las armaduras de pretensado pueden ser importantes.

En España se terminó un puente interesante de hormigón armado normal en el paso de San Fernando, sobre la autopista Madrid-Alcalá, con pilares inclinados de 30,00 metros de luz entre apoyos de columnas. La solución del dintel es de tramos ménsulas de momento de inercia variable.

En *puentes de arcos*, después de las dos superaciones de luz máxima del año anterior, no ha habido anuncio de avance en esta dirección. El record ha quedado en

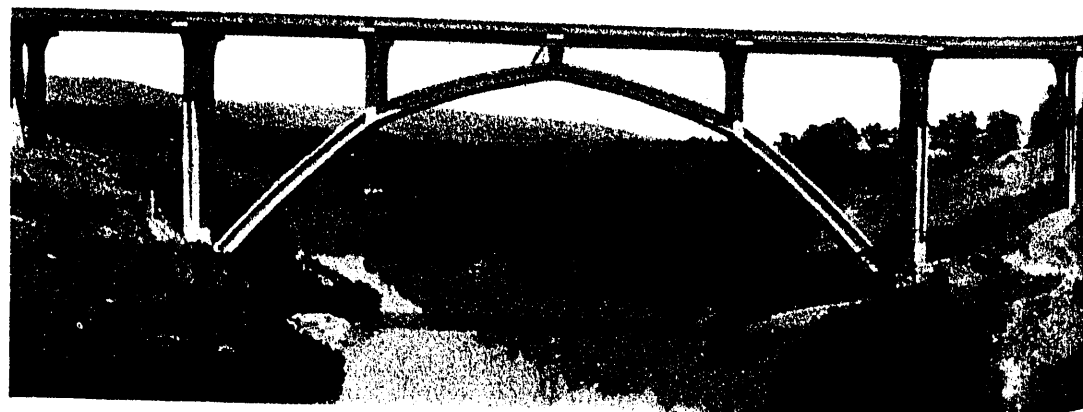
Viaducto de Bacunayagua (Cuba)  
Luz: 114 m.  
SAENZ, CANCIO, MARTIN (1952)



los 1.000' del puente de Parramata, idéntica marca que la conseguida en el año que tratamos por un puente metálico de tablero superior sobre el Niágara en la zona internacional.

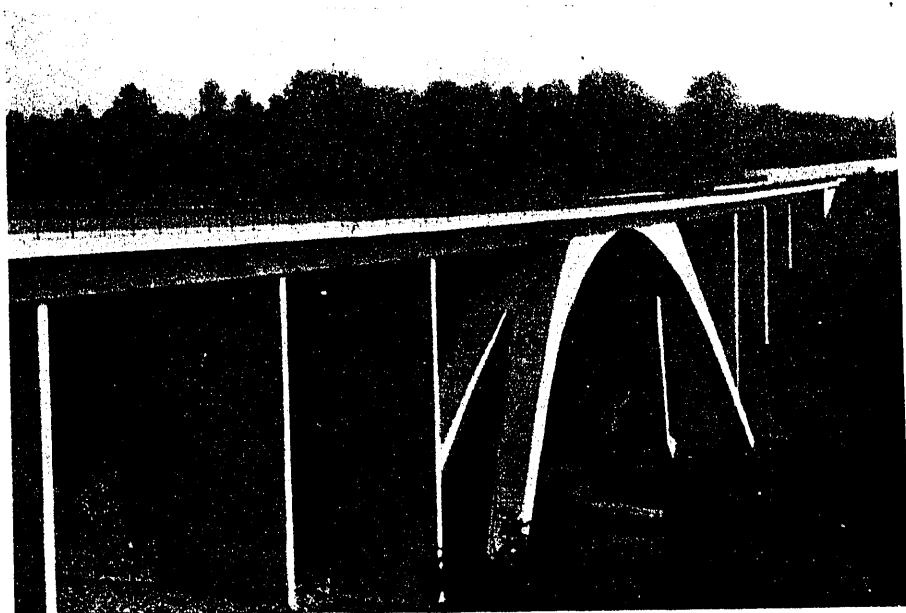
La influencia del pretensado en los puentes de arcos va trascendiendo cada vez más aunque no siempre por un camino directo. En los casos donde la solución arco parece no ser apropiada, como ocurre con los de gran rebajamiento, el pretensado ha tenido papel decisivo, viniendo a llenar el hueco que existía entre los tramos rectos y los arcos y que se habían apropiado indebidamente éstos últimos. Pero su inadecuación era patente al cotejar la gran importancia de los flectores y especialmente en los arcos-típanos que han evolucionado marcadamente hacia soluciones pretensadas. Es ejemplar en este sector el puente de Heilbronn, record de luz antes de

Puente de Romita sobre el Arno. Luz: 114 m. S. ZORZI



la guerra, destruido en ésta y reconstruido después, con un perfil más airoso y adecuado a los tráficos que sirve al pretensar tímpanos mediante armadura en contorno superior.

Otro de los sectores del puente de arcos donde el pretensado tiene un papel directo es en los arcos atirantados, aunque parezca a primera vista paradójico, ya que la estructura de arco atirantado es una combinación de hormigón y acero, donde cada uno de los dos materiales está utilizado en su aptitud máxima. Pero al hormigonar



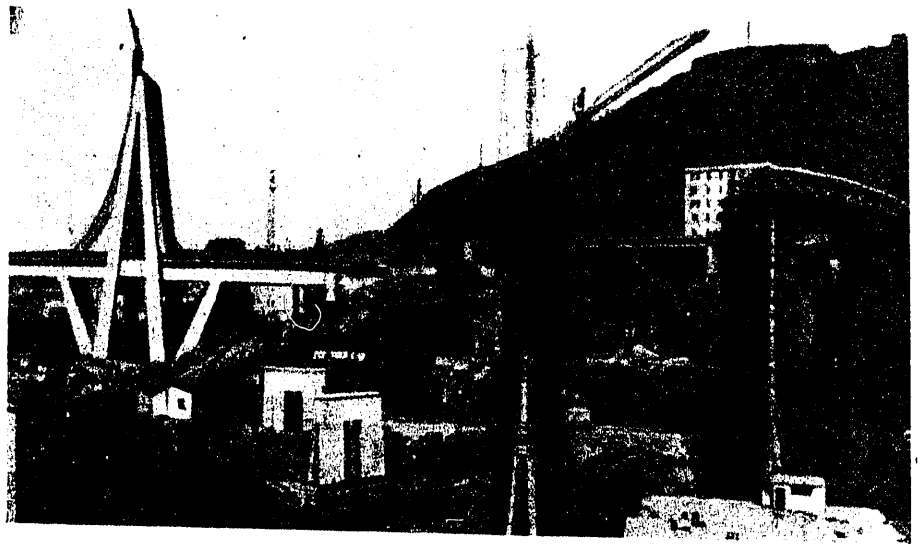
Viaducto de Glems en Schwieberdingen para la autopista núm. 20 (Alemania). Luz: 114 m.

el tirante, el hormigón añadido que no cumple función resistente, tampoco resulta adecuado a la función protectora, ya que deberá agrietarse cuando se estire el acero por acción de la sobrecarga. Al pretensarlo conseguimos que cobre función activa en el aspecto resistente, pero además lo posibilitamos para que cumpla su función protectora, ya que mediante la precompresión inicial nunca llegará a estar estirado de un modo físico. Esto, unido a que resulta más económico resistir esfuerzos de tracción con acero de resistencia alta que con acero normal, hace que sea cada vez más corriente atirantar mediante acero del tipo de pretensar extendido en todo el tablero que así toma una precompresión, mejorando en cuanto a probabilidad de agrietamiento. También se ha llegado a pretensar las péndolas por el mismo problema de su recubrimiento de hormigón.

En los puentes de arco del tipo clásico es donde el pretensado ha ido lentamente y de modo indirecto, haciendo evolucionar su forma que parecía ya definitivamente establecida. La posibilidad de obtener luces económicas más grandes en el dintel superpuesto al arco (en realidad, tenemos un puente de tramo recto sobre el propio arco), ha ido reduciendo el número de enlaces entre arco y tablero llegando a suprimir los intermedios, es decir, a dejarlos relacionados únicamente por el contacto en clave y por pilares en los verticales de los arranques, e, incluso, llegando a soluciones que nos parecen heterodoxas de pasar sobre las pilas intermedias sin materializar las verticales en elementos de enlace. Tenemos así formas de

arco estructural que no coinciden con las formas de arco geométrico e incluso sin continuidad de directriz.

Cuando el peralte del arco es importante y resulta puntual el contacto con el dintel en clave, aparecen los arcos de directriz poligonal destacada, del que es ejemplo el puente de Bacunayagua con 114 m. de luz, construido en Cuba con proyecto de Sáenz, Cancio, Martín, algunos años atrás, o el de Romita, sobre el Arno, proyecto de Zorzi, con 136 m. de luz. Si el rebajamiento es normal, queda una zona indecisa junto a la clave en que se confunden arco y dintel y, entonces, o continúa el intra-



Viaducto de Polcevera en el enlace de autopistas de Génova. Luz máxima: 210 m.

MORANDI.

dós curvo y el trasdós tiende a rectificarse, abordando con franca oblicuidad el tablero, como ocurre en el puente de Glems, proyecto de Wayss & Freytag, con 114 metros de luz, sin palizada sobre el arco, o bien las relaciones entre el arco y tablero se radicalizan dejando una zona central horizontal con sólo dintel que se completa mediante dos patas arqueadas sin palizada de enlace. Tal es el caso del puente sobre el Arno, en la autopista del Sol (Florencia-Roma), proyecto de S. Zorzi, con arcos de 104 m. y tramo horizontal de 38. En este caso, el arco queda pretensado en toda su longitud. En España se construye el puente de Zaragoza sobre el Ebro, con dos arcos de 65 m. sin ningún pilar.

Por este camino llegamos al pórtico en  $\pi$  con pilares inclinados y prolongaciones en vuelo o en continuidad de dintel o simplemente apoyados en los nudos intermedios. Y, en definitiva, enlazando dintel, pilares inclinados y pilares de extremidad. Llegamos al dintel sobre células triangulares, que, en último término, sigue siendo un arco de dos articulaciones con directriz poco apropiada que exige un pretensado para rectificar la línea de presiones. Esta solución es ideal en el cruce de vías de circulación hidráulica.

En puentes de tramo colgado está en construcción el de Polcevera, cerca de Génova, para enlace de autopistas y carreteras, con vanos hasta de 210 m., en el cual reproduce Morandi las soluciones de Maracaibo tanto en los tramos principales como en los tramos de acceso sobre células triangulares de 74 m. de luz.