



562 - 56

utilización del hormigón pretensado en los viaductos urbanos

Carlos FERNANDEZ CASADO
ingeniero de caminos

Evolución de la idea del viaducto urbano

En la morfología de los puentes, el viaducto urbano es el último tipo que se ha actualizado para aliviar la congestión del tráfico en el recinto limitado de la ciudad o de sus suburbios y resuelto adecuadamente gracias a las posibilidades del hormigón pretensado.

La idea del puente correspondió en un principio a salvar de modo permanente el accidente que para la circulación humana es todo cauce fluvial. El viaducto supone ya una ampliación de la idea, pues no son las condiciones hidráulicas las que lo definen. Aparece ya en los acueductos romanos que se despegan del terreno, por exigencias de tipo geométrico, para mantener la horizontalidad del plano de las aguas. Esta inadaptación de la rasante a la geometría del paisaje, vuelve a presentarse con los ferrocarriles, pues la limitación de su pendiente obliga, en ciertas zonas, a un divorcio completo entre el perfil longitudinal del terreno y la línea poligonal de las rasantes. La carretera se amolda mejor porque esta línea poligonal resulta más movida, tanto por los cambios de inclinación como por los máximos de la misma.

La autopista ha vuelto a plantear el problema por las mismas razones que el ferrocarril en cuanto a juego de perfil y rasantes, pero, además, por intransigencia de la planta, que no admite intersecciones a nivel con ningún otro tráfico. Esto último está implícito en el ferrocarril; pero como la mayoría de las veces se trata de un tráfico necesariamente intermitente, cabe el compromiso del paso a nivel con barreras, que den la exclusiva al ferrocarril únicamente durante los intervalos cortos de paso de los trenes. Pero la independencia es absolutamente necesaria en la autopista, pues hay que asegurar la continuidad de tráfico en la misma y, por consiguiente, la idea del puente se amplía a cualquier circulación que crucemos, sea natural o artificial. En definitiva, se trata de una cuestión de velocidad de circulación y frecuencia de tráfico, ya que en el caso de ferrocarriles de circulación frecuente resulta también obligado el cruce a distinto nivel.

La segregación de tráfico se planteó en las ciudades cuando aparecieron los ferrocarriles metropolitanos, en los cuales fue también la velocidad la que planteó el problema, ya que hasta entonces coexistían peatones, vehículos de tracción animal y vehículos con motor, entre los cuales los tranvías, que sólo diferían del nuevo sistema en tener una velocidad mucho menor y adaptable. Las direcciones de circulación coincidían en ambos tráfico, por lo cual era preciso situarlos en niveles diferentes, es decir, o elevando o enterrando la plataforma del nuevo tráfico. La solución normal adoptada fue la segunda, desarrollando en túnel el trazado del ferrocarril, sin perjuicio de sacarlo a la superficie cuando las condiciones topográficas de la ciudad lo exigían. Pero en otros casos se adoptó la solución de plataforma elevada, que dio un carácter inurbano a Chicago con su sistema de viaductos tan ruidosos, por metálicos, y molestos para la circulación inferior, por la pequeña separación de los apoyos.

Otro caso resuelto también en época temprana con plataformas elevadas se presentó en los terminales de las grandes líneas ferroviarias que desembocan en la ciudad. Recordaremos la de la Soo-Line-Terminal en Chicago (año 1913) con estructura de hormigón armado de losa continua sobre columnas, ocupando una superficie de $740 \times 103 \text{ m}^2$ en recuadros de $7,30 \times 7,30$ (ver boletín núm. 84 del Engineering Laboratory de la Universidad de Illinois por Talbot & Slater, y nuestro artículo de Ingeniería y Construcción: *Teoría de las losas continuas sobre columnas*, abril 1934).

En los suburbios se planteó el problema de coordinación de tráfico, entre las vías de gran circulación y todo el complejo irregular de caminos secundarios, canales navegables y áreas de factorías industriales. En muchas zonas la sucesión de cruces era tan repetida, que al proyectar una vía de nueva planta, no era posible tomar tierra entre los pasos a distinto nivel consecutivos, resultando que las pequeñas obras que les corresponden normalmente se convertían en un viaducto mantenido hasta no abandonar la zona irregularmente industrializada.

El problema que condujo al viaducto verdaderamente urbano se planteó con las vías de tráfico rápido para evacuación de la ciudad, poniéndole en comunicación con las zonas de habitación de los poblados satélites, o con las zonas de recreo y expansión. Nueva York en el año 1933 empezó a planear un sistema vial, completamente independiente del que existía, para servir a un tráfico sin interferencias, que se acrecentaría por drenaje continuo a lo largo del mismo camino, el cual había de romper o contornear el cinturón de edificaciones, para volver a diseminar el tráfico logrado, consiguiendo así el esparcimiento de los ciudadanos en todos los sentidos del vocablo.

El logro de este objetivo, de un modo rápido y económico, se consiguió en esta ciudad gracias a los parques periféricos, que permitieron un escape fácil sin tener que tocar las edificaciones. Por este motivo, el servicio se desarrolló desde el Departamento de Parques del Estado, y así, a lo largo de los parques Riverside-Drive, Long Island, Belt, etc., y a través de los Westchester County, Alley, Marine, etc., se consiguió ubicar el sistema inicial que permitió, de un lado, salir de la zona congestionada de Manhattan hacia las zonas de habitación más despejadas, y por otro lado, el disfrute de esos mismos parques, por lo cual estos caminos se denominan inicialmente *parkways*. En ellos se había suprimido todo paso a nivel, con ferrocarril, calle u otro camino, pero, en cambio, se establecía una comunicación con éstos mediante rampas de intercambio en nudos de enlace perfectamente ordenados. Esto se resolvía con obras de fábrica pequeñas, pues muy pocas veces era preciso despejarse netamente del terreno.

La extensión del programa, agotando las posibilidades de los parques, obligó a desarrollar las plataformas de tráfico con grandes longitudes en viaducto, como ocurrió en la vía Gowanus, para salida hacia Long Island desde el *down-town* de Manhattan, a través de Brooklyn, que cruza mediante un viaducto metálico de varios kilómetros. Además, el acceso a los grandes puentes del East River, con sus plataformas notablemente elevadas por necesidades de navegación, ha puesto de relieve las vías de encauzamiento del tráfico hacia ellos, obligándoles a despejarse del suelo en viaductos de importancia. Estas obras se han ejecutado normalmente en estructura metálica.

Este problema del encauzamiento del tráfico hacia puentes sobre ríos navegables, es el que ha determinado un gran número de viaductos urbanos en las ciudades alemanas de orillas del Rin, entre los cuales tenemos de nuestro tema, los de acceso al puente Nordbrücke en Düsseldorf, que son los Tausendfüßler (12), Benediktusstrasse (13) y Pariser (11), el de acceso al puente Severin en Colonia (16) y los del nuevo puente de Mannheim.

En otras ocasiones, el problema lo plantean—como ya hemos indicado—la anarquía de cruce de vías en el suburbio, que obliga a las que deben asegurar la continuidad de su tráfico a elevarse sobre todas las demás, lo cual, dada la poca flexibilidad de las rasantes, determina largos viaductos cuando ferrocarriles, canales y otras carreteras se encuentran diseminados. Tal es el caso en Baden Oos, en Baden-Baden (17), Chiswick (10) cerca de Londres, en Hofwerterweg (Holanda), en el de Stuttgart (14) y en el de Ludwigshafen (15), aunque estos dos últimos se encuentran en zonas francamente urbanas.

La última modalidad del viaducto urbano deriva de una evolución de la vía misma. En la ciudad, especialmente en su zona periférica, existe siempre la mezcla de dos tráfico: el local que tiene que recorrer pequeñas distancias con la atomización permitida por el sistema de calles, que es el tráfico urbano por excelencia, y el transurbano, que puede ser el de abandono de la ciudad o el de comunicación dentro de la misma de núcleos distantes a los cuales se debe llegar lo más rápidamente posible.

La segregación de ambos tráfico es la que determina la aparición de los viaductos urbanos en las zonas periféricas con las dos variantes de vías de cintura o rondas y vías radiales de entrada o salida al núcleo urbano.

De este tipo tenemos los viaductos Schamberger (7) y el de Nordwestbogen (6) en la gran vía de cintura de Berlín (Schnell Strassennetz) y el de la "Petite Ceinture" de Bruselas (22). En esta ciudad, las necesidades crecientes del tráfico de salida, agravadas temporalmente por el tráfico extraordinario durante la Exposición Internacional de 1958, determinaron la construcción de esta gran calle elevada.

Algunas veces el problema aparece más neto tratándose de ciudades pequeñas donde la mezcla de tráficos proviene del cruce de una carretera importante que se soluciona suprimiendo la travesía mediante un camino de ronda que pone en cortocircuito las entradas en el casco urbano, y que en ocasiones forma ronda completa, dando un enlace rápido de todas las vías que confluyen a la ciudad.

Otra de las ocasiones de aparición de viaductos elevados la tenemos en la organización de centros comerciales en el corazón de las grandes ciudades donde se reservan a los peatones grandes superficies de los mismos, debiendo realizarse la circulación de automóviles a nivel superior, tanto para el acceso a la misma como para no interceptar las comunicaciones normales de la ciudad. El tráfico de abastecimiento diario a estos centros se proyecta generalmente a un tercer nivel, dando entrada a los productos por vía subterránea. De este tipo tenemos la Klarabergsleden de Estocolmo, en la que se suceden una serie de viaductos de diferentes clases, algunos de hormigón pretensado, según las condiciones del tráfico inferior, cimentación, etc.

El hormigón pretensado es la solución estructural más adecuada para estas obras, especialmente en Europa, como demuestran las realizaciones conseguidas, y la ausencia en los concursos importantes de soluciones metálicas o de hormigón armado normal, eliminadas aquéllas por economía y éstas por la importancia de las luces.

En España la cuestión empieza a ponerse sobre el tapete, y nuestras autopistas de acceso a Madrid han dado lugar a vías con cruzamientos a nivel, en las cuales se han construido los correspondientes pasos superiores e inferiores, tratados al modo "monumental". También ha comenzado la construcción de vías circunferenciales en las mismas condiciones, no presentándose en ellas viaductos de longitud importante. El problema que empieza a estar candente es el de intolerancia de tráficos urbano y transurbano en las plazas periféricas, ejemplo de lo cual es nuestra glorietta de Atocha, que ya clama por una segregación de tráfico en dos niveles. En Barcelona se ha empezado a abordar el problema con la construcción del viaducto circular de la plaza de las Glorias, en la cual se independiza el tráfico vial de gran distancia del local y del ferroviario.

Morfología

La característica morfológica de estos viaductos es su sencillez, tanto en dintel como en pilares. Su condición genuina es reducir al mínimo la perturbación debida a la coexistencia de los tráficos. Por consiguiente, al materializarlos deben causar el mínimo obstáculo a la circulación inferior, y esto llevado hasta sus últimas consecuencias, es decir, no limitándose a dejar libres los volúmenes interceptados por dicha circulación, sino resultando lo más transparentes a las miradas de los ciudadanos que van a circular por el nivel inferior. Lo primero es una imposición a los pilares, y lo segundo, al dintel.

El dintel no difiere mucho con respecto al de un puente normal. Cumpliendo lo que acabamos de indicar, ha de ser lo más simple y escueto posible, con el mínimo de ideas realizadas, o sea, altura constante, sección rectangular o trapecial con voladizos y superficie cuidada lisa. Como la planta introduce muchas veces la forma curva, no se pueden restringir las formas a superficies planas, pero deben evitarse los acartelamientos y cambios de sección no impuestos por la función. No debe olvidarse que el dintel se va a proyectar siempre sobre un fondo urbano, alterándolo, y, por tanto, debe tener vocación de transparencia.

Los pilares han de escatimarse al máximo en número y volumen. Es preciso tener en cuenta que a favor de esta idea tenemos siempre el hecho de la poca importancia estructural de los pilares en los puentes de tramo recto. Pasando de los puentes de sillería con sus clásicas pilas, que soportan arcos, ha costado trabajo encontrar las formas propias de los apoyos en los puentes de hormigón armado, y los ingenieros que los han proyectado se han resistido a adoptar las dimensiones adecuadas, porque, sumergidos en una extraña inercia, no podían apartar de su imaginación las hermosas pilas de los puentes de fábrica. Esto demuestra que el proyectar estructuras no es reducible a un mero proceso de cálculo, sino que es un fenómeno psicológico mucho más complicado.

La primera vez que se calculan los apoyos de un puente de tramo recto se queda uno asombrado de la pequeña sección que se precisa desde el punto de vista estructural. Nosotros experi-

mentamos esta sorpresa, hace casi treinta años al proyectar el Puente de Puerta de Hierro sobre el Manzanares, pues en una primera solución de tabiques resultaban espesores inverosímiles, decidiéndonos por simples columnas cilíndricas apareadas con las vigas, aun creyendo que esta solución no era la más conveniente desde el punto de vista hidráulico. Pero es preciso realizar alguna vez al menos esta sencilla experiencia, pues en un reciente concurso de puente para ferrocarril sobre autopista (viaducto urbano de una longitud apreciable) causó trastorno a los ingenieros de la Administración que redujéramos los apoyos intermedios del mismo, en la zona transparente de la autopista, a su más sencilla expresión: grupos de cuatro columnas cilíndricas que llegaban sin más hasta el dintel.

En los viaductos urbanos esta aspiración de sencillez extrema se ha llevado al máximo y especialmente en los pilares, llegando a reducirse a una fila longitudinal de columnas cilíndricas que emergen del suelo y llegan hasta el plano inferior del dintel, unas veces sin más y otras con capiteles que ensanchan la superficie de apoyo, para reforzar el enlace o dar espacio a situar los aparatos de articulación. La fila única es la solución radical, la inmediata es dos filas paralelas que, a veces, no coinciden transversalmente para amoldarse a las posibilidades de cimentación que dejan los tráfico inferiores. Pero cualquiera que sea la irregularidad de su distribución impuesta por estas condiciones de tráfico, las columnas emergen tanto más serenas y destacadas cuanto mayor es el muremágnun que les rodea. Su forma normal es, además de la cilíndrica, circular o elíptica, troncocónica o de sección rectangular con sección constante o contorno trapezoidal. Las formas de pilares complicadas, con alzado en V, se han quedado en los dibujos de soluciones no adoptadas en los concursos de proyectos, o se han empleado alguna vez en viaductos cortos (véase los del paso superior número 10 del acceso a Orly en ficha núm. 21). La disposición más complicada es la de los del viaducto Nordwestbogen con forma en H, correspondiendo a una estructura en pórtico y a una luz de 85 metros.

La forma más particular de estos viaductos urbanos, la de dintel rectangular simple sobre fila única central de columnas cilíndricas, se inició ya en puentes de hormigón armado normal en la Dirección de Carreteras del Estado de California, siendo una de las primeras realizaciones el viaducto del Ramona Freeway (5), construido en 1950, con todas las características apuntadas y, además, otra muy utilizada también que es la de partir el dintel en dos mitades por el eje longitudinal, haciendo puentes independientes para cada dirección de tráfico. Esto resulta muy interesante en el caso de cruce en oblicuidad o en curva, pues la ubicación de los pilares puede hacerse con total independencia para ambos. La solución se repitió en otros dos puentes y viaductos del mismo Departamento norteamericano, con columnas cilíndricas o pilares rectangulares en fila única, acusando a veces la viga rectangular que otras veces queda embebida en la altura del dintel.

En su aspecto externo, la complicación mayor del dintel corresponde a la planta que con frecuencia tiene zonas curvas y, por consiguiente, los paramentos acusan superficies cilíndricas, así como fondos inclinados debido al peralte de la plataforma.

Con una sola fila de columnas tenemos como solución clásica el dintel en cajón rectangular o con paramentos ligeramente inclinados, que recibe la plataforma prolongada a ambos lados en voladizo. Cuando existen dos filas de columnas, si están distantes pueden individualizarse las dos vigas formando como dos puentes del tipo anterior, cuyos tableros se enlazan, o, lo que es más normal, cajón único alveolar, con sus voladizos de ampliación, sustentado sobre los pilares. En el caso de distribución irregular de pilares, o de variación de anchura de plataforma, la forma más adecuada es la de cajón que se amolda a estos cambios y recibe los pilares dentro de su fondo.

Ya hemos destacado que las soluciones típicas de estos viaductos no son privativas del hormigón pretensado, pues, al contrario, se iniciaron en hormigón armado normal, pero el pretensado permite sacar el mayor partido posible en cuanto a luces, vuelos transversales del tablero y eficacia de la sección cajón.

Problemas estructurales

En el dintel los problemas estructurales son más normales, complicándose en el caso de fila única de pilares la estructura transversal, aunque de modo mínimo si disponemos fuertes diafragmas en las secciones de apoyo.

En estructura longitudinal la solución más general es la de dintel de vanos continuos, casi obligada cuando la planta es curva y cuando las luces son de importancia. Puede también utilizarse la solución de pórtico con solidarización de pilares, limitándose en un número corto de vanos. Una resolución de gran interés es la del viaducto Nordwestbogen (6) por sucesión de elementos T, compuestos de dos dinteles rígidamente unidos al pilar común y simplemente apoyados con libre deslizamiento en los pilares colaterales.

Otra solución muy interesante de pórtico múltiple es la utilizada también por Dyckerhoff & Widmann en los viaductos de Ludwigshafen (15) y Schamberger (7), en la cual se obtiene un dintel de cuatro vanos solidarizando con él tres pilares, el central, rígidamente enlazado también con la cimentación, pero los dos intermedios sustentados sobre ésta a través de sistemas de rodillos que permiten el libre deslizamiento horizontal de las secciones de sus pies. En el caso de Ludwigshafen se trata del enlace de tres unidades idénticas, salvo en lo que se refiere a sustentación de los pies, formadas por una gran columna de 6 m de diámetro con sección anular, de la cual vuelan—como ya hemos indicado—cuatro ménsulas en diagonal que soportan el tablero, llegando a abarcar un área de 30×30 m². Estas unidades se construyeron independientemente y se enlazaron después, dando luces hasta 33 m, mientras que en Schamberger, con luces intermedias de 60,615 y laterales de 54, la construcción se llevó en dos mitades con junta de construcción en el plano medio, quedando las extremidades del dintel simplemente apoyadas en estribos.

El pórtico sencillo de un vano se ha utilizado en el acceso a la roca Tarpeya, en Caracas (20), con planta muy curva y 55,24 m de luz.

La estructura de tramos independientes simplemente apoyados encaja en las luces de mediana importancia y trazados rectos como, por ejemplo, en el viaducto de Chiswick (10) con tramos de 38 m en el de la Avenida Constitution de Washington con luces de 33 m, etc. Estos casos resultan indicadísimos para la construcción por prefabricación.

En estructura transversal la sección característica del dintel es—como ya hemos visto—la alveolar, con sección en cajón de un solo alvéolo o de alvéolos múltiples, habiéndose empleado la sección de losa maciza cuando las luces son pequeñas como, por ejemplo, en la rampa de Mannheim, en la que tenemos 15 y 18,87 m, o en el viaducto Severin con luces de 20 m (espesor 1,30). De la sección en cajón único o doble, vuela, por ambos lados, el tablero con salientes hasta de 3,35 gracias al pretensado.

En el de mayor luz construido, el de Nordwestbogen (6), el cual utiliza doble cajón bicelular, que se convierte en cajón único con cinco alvéolos en las inmediaciones de los apoyos.

Cuando se construye por vigas prefabricadas se llega a un tipo de cajón de gran número de alvéolos, pues las vigas suelen adosarse o bien complementarse por cabezas inferiores, ejecutando luego en el sitio un forjado superior de solidarización.

Una solución muy económica y de sencillez constructiva es la de cajón monocelular, que se adapta muy bien a viaductos estrechos con una sola fila de columnas, o bien duplicadas en los de calzada ancha, con independencia para cada dirección, como vemos en el Paulinen de Stuttgart, Pariser en Düsseldorf y el duplicado de la calle Benediktus en esta misma ciudad. En otros casos de gran anchura, como en los de acceso a los puentes sobre el Rin en Düsseldorf (Tausendfüßler) y en Colonia (Severin), las dos vigas cajón sobre sus correspondientes filas de pilares se enlazan mediante el tablero.

Una sección transversal original es la del viaducto Schmargendorf dividiendo el dintel en dos independientes, cada uno de los cuales tiene contorno lenticular con dos diafragmas internos que dan lugar a un mecanismo de resistencia a flexión por efecto combinado lámina-viga. Cuando se tiene doble fila de pilares es muy frecuente cortar el dintel longitudinalmente en dos mitades, lo que permite, en el caso de cruces oblicuos y complicados, disponer los soportes en completa independencia en cada una de las mitades, ocurriendo a veces que para mayor facilidad las dos partes se alejan en las zonas difíciles; pero lo general es que vayan adosados, colocando entre ellos el andén central de separación de tráfico. Una variación interesante es la adoptada en el viaducto de la calle Benediktus en Colonia, donde se ha rellenado el espacio entre ambas partes con material translúcido, que da una iluminación agradable al espacio inferior.

Ya hemos visto los sistemas de articulaciones entre pilares y dinteles, con sus péndulos metálicos, articulaciones de hormigón armado con hierros pasantes y juegos de rodillos llevados, en algunos casos, a una gran multiplicación. El sistema de articulación que resulta definitivo es el de transmisión a través de neopreno armado, con lo cual se consiguen articulaciones de tipo intermedio entre las fijas y móviles clásicas, que son muy económicas y, sobre todo, permiten deslizamientos en cualquier dirección, lo que es muy importante cuando se trata de tableros de gran anchura o curvos, ya que en estos casos las direcciones de los desplazamientos varían, no sólo en cada apoyo intermedio, sino en cada uno de los pilares o aparatos que integran el apoyo.

Leonhardt estudia el problema estructural de los pilares en un artículo publicado en junio de 1960 en la Revista *Beton- und Stahlbetonbau*. Los clasifica en grupos, según las condiciones de enlace con cimentación y dintel, combinando todas las posibilidades de empotramiento o articulación en dichas secciones. En el caso de doble empotramiento, nuestra estructura se convierte en

un pórtico múltiple, con los inconvenientes inherentes a este tipo de estructura, a consecuencia de los efectos correspondientes a variaciones de temperatura, por lo cual no debe prolongarse el dintel en dos vanos con pilares importantes, pudiendo llegarse hasta menos de tres con pilares esbeltos. La mayor solidarización con el dintel se obtiene en los puentes de la clase "Pilz", en los que se destacan de las cabezas de gruesos pilares cilíndricos, de sección anular, cuatro ménsulas a 45° con el eje del camino, en las que se sustenta el dintel.

El segundo grupo de pilares considerado por Leonhardt, corresponde a los articulados en cabeza y empotrados en pies sobre el macizo de cimentación. Es la solución más general, pues corresponde a la sustentación de un dintel con estructura longitudinal de vanos continuos, en los cuales las articulaciones sobre pilares han de ser de libre dilatación, excepto una fija a través de la cual se transmiten los esfuerzos horizontales de frenado al pilar correspondiente. Algunas veces se dispone el apoyo fijo sobre un estribo, y entonces todas las articulaciones de pilas son deslizantes. En el caso de pilares en fila única para absorber las reacciones correspondientes a las torsiones del tablero con sobrecarga en una sola mitad longitudinal, el autor ha utilizado parejas de péndulos en la línea de articulación que recibirán del tablero una presión uniformemente repartida cuando esté cargado en toda la superficie, y una presión desigual variable en distribución lineal, cuando la sobrecarga se concentre hacia uno de los bordes. Debe procurarse que en el caso de sobrecarga más desfavorable, el ancho de tablero soportado por el juego de péndulos sea lo suficiente para que no aparezcan reacciones ascendentes en éstos. Leonhardt utilizó este sistema por vez primera en el puente de Möhringen sobre el Danubio en 1953, y en los viaductos urbanos del Oostal en Baden-Baden y de la calle Paulinen en Stuttgart.

Cuando se trate de viaductos de planta curva, las articulaciones fijas deben disponerse hacia el centro del tablero, orientándose todos los péndulos en direcciones perpendiculares a los radios que los enlazan con el punto fijo del tablero. Así se han dispuesto en la rampa de Mannheim proyectada por Leonhardt.

En el caso de tramos continuos de gran luz, con fila única de pilares, no se pueden emplear bielas de articulación móvil, ya que exigirían una longitud de contacto excesiva, no habiendo materialmente sitio aunque se prolongue en capitel la cabeza de la columna y, entonces, se ha recurrido a rodillos en filas paralelas. Así se ha hecho en el viaducto de Unkelstein, construido por Dyckerhoff & Widmann con luces de 32 a 41 m, donde se han repartido los juegos de rodillos en cuatro rectángulos distribuidos simétricamente con los ejes de la columna.

La solución de pilares empotrados en cabeza con articulación en pie no parece muy conveniente, sobre todo si se trata de fila única de columnas. Pero ha sido utilizada en algunos viaductos construidos por Dyckerhoff & Widmann, disponiendo un gran número de rodillos entre el pie del pilar y la cimentación para permitir el traslado en plano horizontal de la sección inferior de aquél.

Problemas de cálculo

Los problemas de cálculo de estas estructuras derivan principalmente de la importancia que toman las torsiones al tratarse de puentes con planta curva, fuertes oblicuidades, y especialmente, en los casos de fila única de pilares, al presentarse asimetría en la repartición transversal de las cargas. El caso más complicado es el del viaducto de la roca Tarpeya (20), donde la plataforma es helicoidal, pero, en definitiva, se trata de calcular una viga de este tipo, como ocurre en las escaleras de caracol. La preocupación por resistir torsiones se refleja en la adopción de secciones en cajón que, por otro lado, son los más interesantes desde el punto de vista estético.

Generalmente, para estudiar las torsiones se considera el caso de dintel independiente y perfectamente empotrado en sus secciones extremas. Esta hipótesis queda siempre del lado de la seguridad, puesto que siempre intervendrá el pilar que, por un lado, absorberá una parte del momento de empotramiento correspondiente y, además, al deformarse, hará intervenir al dintel inmediato. Una aplicación del método de Cross en tres dimensiones nos da, con gran facilidad, el reparto de pares entre los tres elementos que—como ya hemos dicho—nos llevará a torsiones en los dinteles y flexión transversal en el pilar. Esto último es independiente de que el pilar esté solidarizado longitudinalmente o no con el dintel, pues en este caso los aparatos de apoyo han de tener una dimensión transversal suficiente para aportar el par necesario a la estabilidad del conjunto. Normalmente se determina esta dimensión de modo que en el caso más descompensado de distribución de vehículos, es decir una sola de las mitades cargadas, no se produzcan reacciones ascendentes, pero también pueden admitirse éstas enlazando pilar y dintel a través de hierros pasantes que no dificulten el juego de la articulación en sentido longitudinal. Como ya hemos visto, ésta es la causa de aparecer capiteles en cabezas de columnas, que están articuladas con libre deslizamiento respecto del dintel, para esfuerzos longitudinales.

Las consideraciones anteriores se aplican al caso de articulaciones en pies de pilares del tipo deslizante de simple corrimiento, que se han empleado en Ludwigshafen (15) y en Hammersmith (8). En estos casos interesa siempre que las acciones sobre cimientos sean descendentes.

Cuando se utilizan pilares de doble empotramiento en dintel y cimientos, hay que tener en cuenta, como apunta Leonhardt (6), la mejora de condiciones que se obtiene, para esfuerzos debidos a variaciones de temperatura, que son los más desfavorables en dicho elemento estructural, si suponemos que se produce un pequeño giro en la sección inferior, cosa que es muy verosímil y que puede predeterminarse si conocemos el coeficiente de balasto del terreno. El mismo autor da unas tablas para facilitar los cálculos, aplicándolas a un ejemplo para mostrar el orden de magnitud de los efectos. Las cimentaciones deben disponerse rectangulares con la menor dimensión longitudinal para aprovechar este efecto que, por otro lado, es desfavorable en el caso de resistir el frenado.

Problemas constructivos

La divisa de estos puentes de reducir al mínimo las perturbaciones entre los diversos tráficos afectados ha de cumplirse, hasta donde sea económicamente posible, durante la construcción de la obra.

Cuando se trata de luces pequeñas, la prefabricación resulta el sistema ideal, que permite la ejecución de las vigas en un taller distante y se transportan hasta la obra para elevarlas rápidamente en las horas donde el tráfico inferior es menos intenso. Esto se practica en gran escala para las obras de cruce de carretera y ferrocarril; transportándose a veces grandes cargas sobre vagón que se montan utilizando también las grúas potentes que disponen los servicios ferroviarios.

En los puentes de grandes luces, donde la continuidad es la solución estructural más conveniente, la prefabricación tiene poca aplicación, ya que los pesos y longitudes de los elementos serían de gran importancia y, aparte de exigir medios auxiliares de gran envergadura, causarían conflictos de tráfico en su transporte.

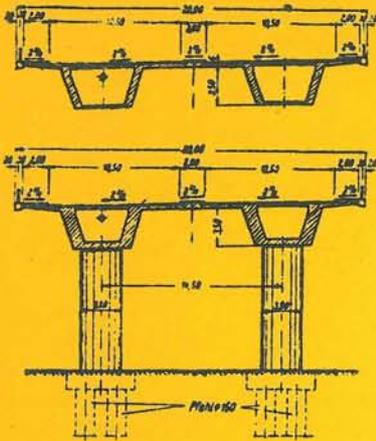
En los viaductos que reseñamos se ha prefabricado la mayor parte del dintel del de Chiswick (10), que está integrado de tramos independientes de 38 m de longitud. También se ha utilizado en la plataforma vial de Brasilia con vigas de 29,42 m de longitud, y se proyectó para el viaducto Hammersmith, que se construyó por rebanadas, dando monolitismo mediante el pretensado.

Otro sistema constructivo perfecto para estas obras es el de avance por voladizos sucesivos, utilizado por Dyckerhoff & Widmann en la construcción del puente Nordwestbogen (6), compuesto de unidades en T con simple apoyo en las extremidades del dintel que se corta cada dos vanos, como ya hemos indicado. Se avanzaba desde cada pilar solidario volando por ambos lados y complementando la sustentación provisional de los dinteles en voladizo mediante cables que enlazaban extremidades a través de una torre sobre el pilar y con apoyos eventuales cerca de las extremidades del vano.

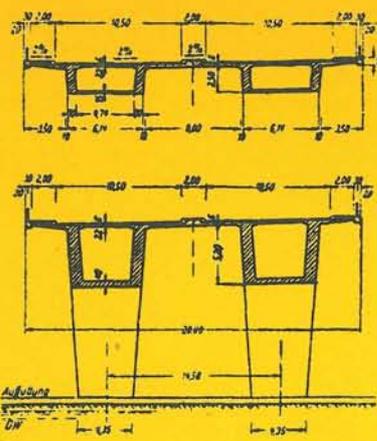
La prefabricación puede utilizarse en dinteles continuos montando las vigas independientes y dándoles luego continuidad mediante forjado superior construido en el sitio, procedimiento que se ha utilizado en el viaducto de Hofwerterweg en Holanda con luces de 19 y 24 metros.

Un ejemplo muy interesante de prefabricación en dintel continuo y, además, de gran luz (42,70 metros), es el que se ha utilizado en el viaducto de Hammersmith (8), donde se ha ejecutado todo el dintel por rebanadas en secciones de unos 3 m, las cuales son de dos clases, alternando unas que dan únicamente la viga central en cajón tritelular semitrapecial, y otras, más estrechas, que reproducen toda la sección del dintel, y que exceden de las otras en dos voladizos para prolongar el tablero. Sobre estos elementos se colocarán unas losas de hormigón armado de 20 cm que dan el tablero. Se dejan juntas de 7,5 cm para rellenar "in situ", y el pretensado longitudinal se hace por cables poligonales que se introducen en alvéolos que llevan las piezas apoyándose sobre ellas en los vértices del perfil con intermedio de unos topes metálicos de contacto. El pilar se solidariza con el dintel mediante un pretensado vertical que lo enlaza a la primera rebanada de tipo viga situada inmediatamente encima, la cual se prefabrica en dos mitados. Las vigas de borde son los únicos elementos estructurales que se moldean "in situ".

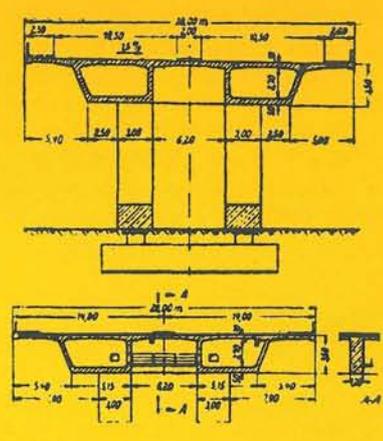
PHILIPP HOLZMANN-I



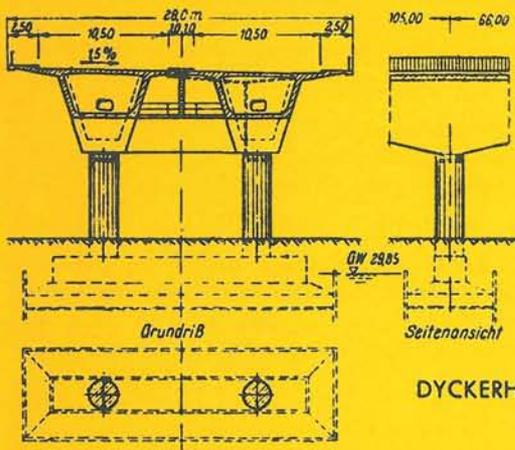
PHILIPP HOLZMANN-II



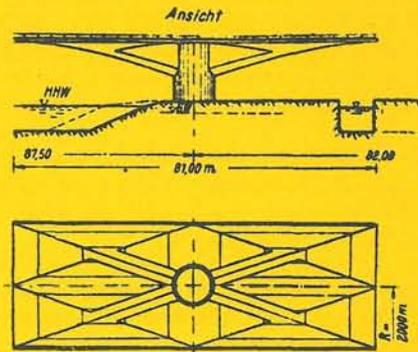
BETON UND MONIERBAU-III



BETON UND MONIERBAU IV

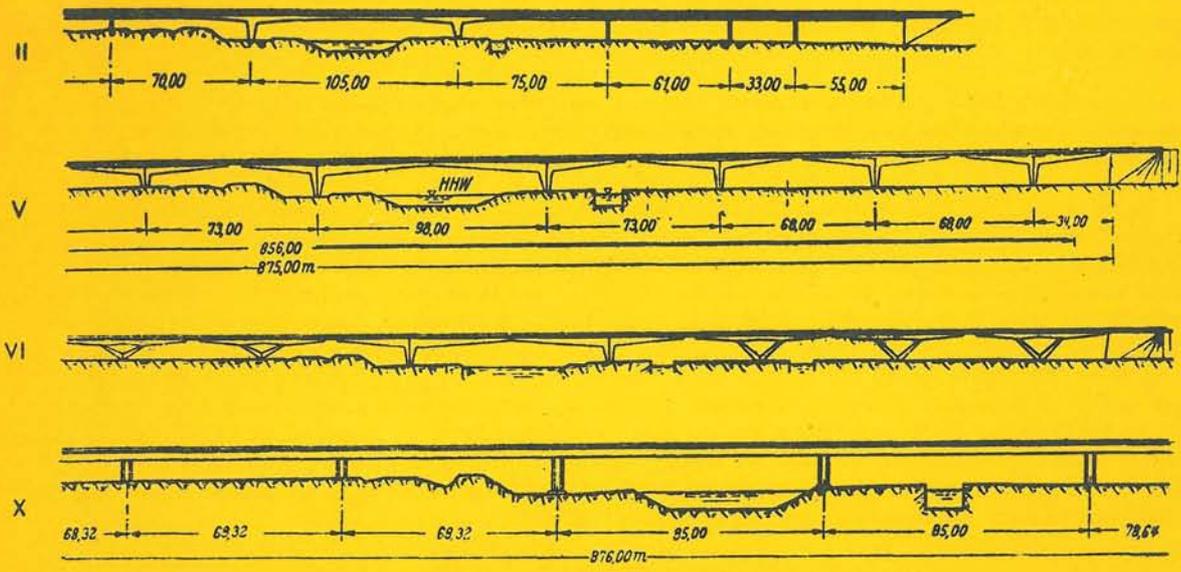
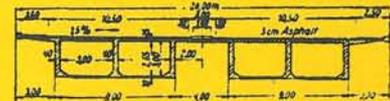


DYCKERHOFF & WIDMANN IX



DYCKERHOFF & WIDMANN X

ADOPTADA



Concurso de proyectos para el puente Nordwestbogen en la vía de ronda de Berlín.—H. STILLER & G. JESKE. «Beton- und Stahlbetonbau», mayo 1958, pág. 106, lámina 1.

Este viaducto en la vía rápida de ronda de Berlín con seis circulaciones y un ancho total de 28 m tenía que cruzar el Spree, varias líneas de ferrocarril y algunas calles, lo que daba lugar a una longitud total de unos 875 m en planta curva con distintos radios y con varios apoyos intermedios fijados de antemano por las condiciones urbanas, resultando luces mínimas de 68 y 85 m en las condiciones del concurso.

La rasante estaba determinada y se conocían perfectamente las condiciones de cimentación. En la sobrecarga debía tenerse en cuenta un carro de 90 t y la normal en puentes de la clase 60 t. Había que prever el transporte de tuberías y conducciones (2.000 kg/ml).

Se llamaba la atención sobre las condiciones estéticas del puente, tratándose de una obra urbana tan destacada, exigiéndose una estructura limpia, una gran perfección en la ejecución del hormigón y unos recubrimientos perfectos. Se suponía un pavimento de 6 cm de asfalto fundido y un pretensado longitudinal y transversal para conseguir impermeabilidad en el tablero. El plazo de construcción previsto era alrededor de los tres años, dándose siete semanas para el estudio de la solución a cinco Empresas constructoras, permitiéndoles un solo proyecto y variante a cada una. Estas eran: Ph. Holzmann, Dyckerhoff & Widmann, Beton v. Monierbau, Wayss & Freytag y Polensky & Zöllner. El presupuesto total de la obra osciló de 11.796.000 a 15.170.000 DM.

El mayor número de soluciones utilizaban dintel de altura constante en continuidad de viga de varios vanos o formando pórticos, por ejemplo, en T, que es la del proyecto Dyckerhoff que se ha construido. Este punto de vista de la uniformidad ha sido tenido en cuenta en varios proyectos extendiéndolos a los apoyos, que, como en todos los viaductos urbanos, se reducen al mínimo. Abundan los apoyos cilíndricos apareados, que suelen coincidir con vigas destacadas de sección cajón, generalmente trapecial o multicelular. En la adoptada son dos cajones bicelulares.

Frente a este criterio de uniformidad destaca el de ordenación jerárquica, teniendo en cuenta que existe un vano principal sobre el Spree, que llega a salvarse con luz de 105 m en tramo que se compensa prolongándose en los dos vanos inmediatos, integrando un pórtico de tres vanos. En estos casos se adopta la solución de célula en T formada por dos ménsulas compensadas, llegando a mitad de vano o completándose con losa intermedia de enlace.

En algunos apoyos se ha adoptado la forma en V, que no resulta adecuada al paisaje, teniendo en cuenta que las alturas varían mucho de unos tramos a otros. La forma más frecuentemente adoptada es la cilíndrica, siendo en hilera única con diámetros hasta 9 m, o bien en doble hilera, con unos 3 m de diámetro. En menor que el tablero. En la solución adoptada tienen una forma H en alzado transversal con entalladura de enlace a media altura.

El sistema constructivo adoptado es el típico Dywidag por avance en voladizos sucesivos de andamio y encofrado, completando la sustentación provisional con cables y, además, con andamios en las extremidades de los vanos máximos.

Se refiere al cruce del camino de ronda de Berlín sobre el complejo ferroviario de la estación de Schmargendorf, que obliga a un viaducto con planta en S cortando muy oblicuamente las vías de la estación y a las calles de acceso a la misma. El problema se complicaba porque el trozo del camino de ronda (dos direcciones independientes de 10,50 m de ancho, con aceras de 2,40) enlazaba, por un lado, con la parte construida, mientras que, por el otro, quedaba cortado a una cierta distancia de la calle de Mecklenburgischen, que había de cruzar en paso superior, y en el intervalo es preciso enlazar de un modo provisional mediante rampa de acceso.

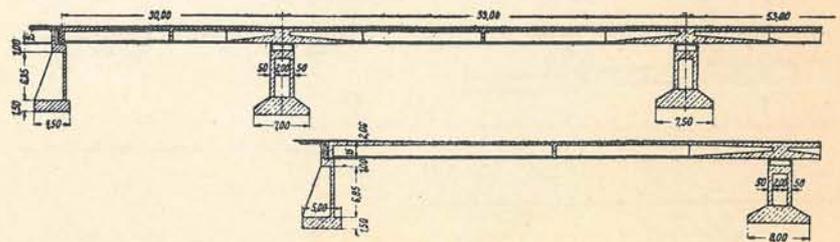
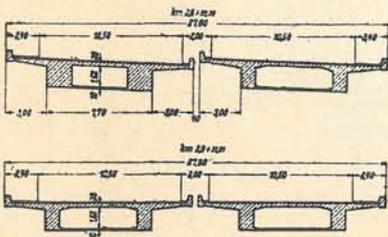
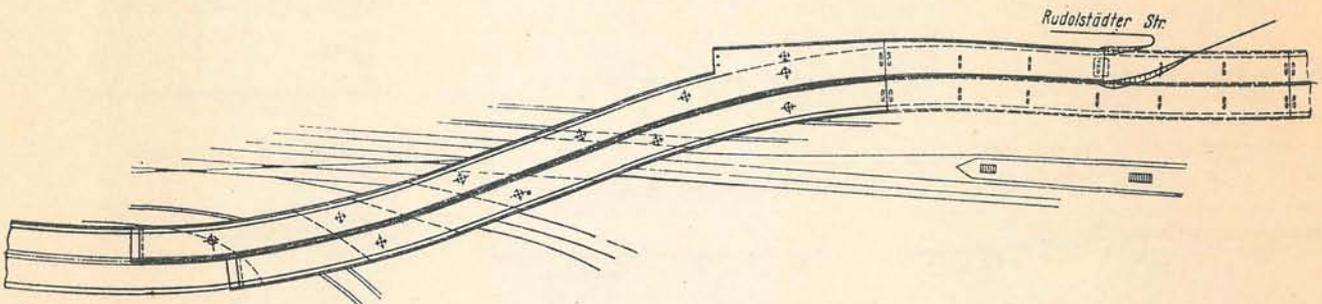
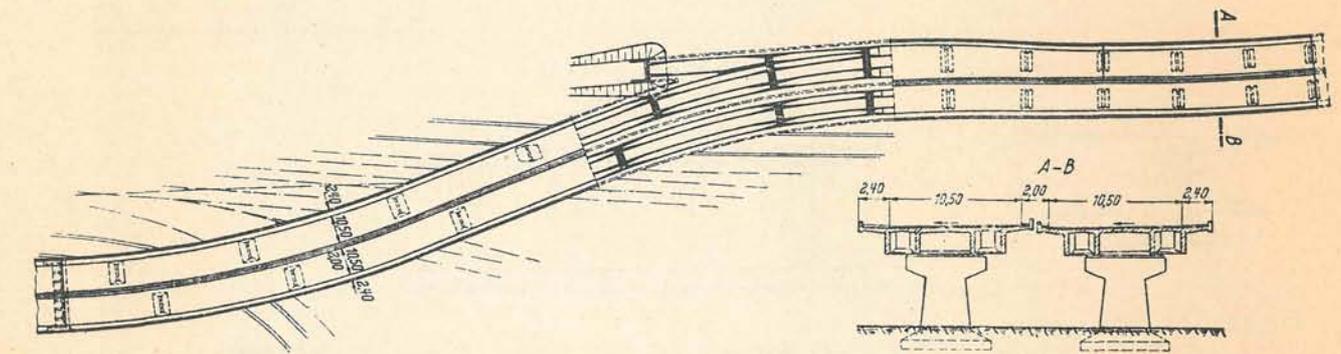
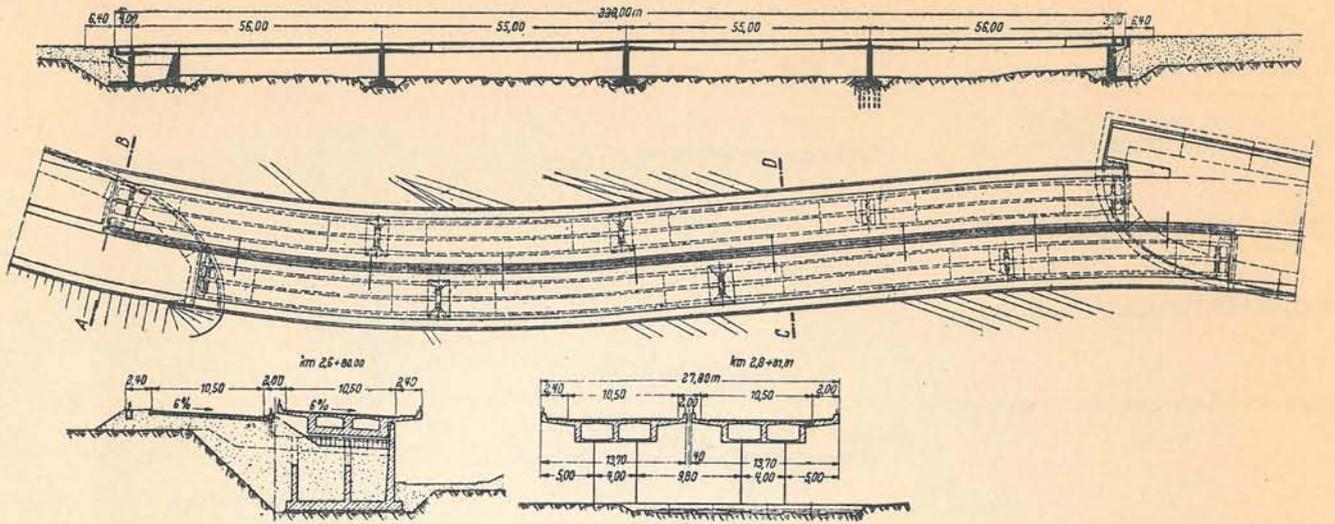
El concurso fue de proyecto-construcción, invitándose a once Empresas constructoras. Fueron datos el trazado en planta, las rasantes, marcándose las zonas donde podían situarse los apoyos y el perfil geológico del terreno. La sección transversal era la normal del camino de cintura. En una de las zonas de acceso se permitía optar, bien por terraplén entre muros, o por estructura elevada que permitiera aprovechar el espacio para almacenes o garajes.

Todas las soluciones presentadas fueron de hormigón pretensado, empleando cada una de las empresas sus propios sistemas. El precio del acero hizo prohibitivo su empleo, bien en estructura completamente metálica o en estructura compuesta. La complicación de la planta y las grandes distancias entre soportes eliminó también al hormigón armado normal.

Los proyectos más interesantes fueron los de Grün & Bilfinger, Philipp Holzmann, Polensky & Zöllner y Dyckerhoff & Widmann, siendo adjudicada la obra a esta última, que lo ha construido ya en la actualidad.

En todas las soluciones se va a estructuras de dintel continuo, dividido en dos por junta longitudinal, con objeto de tener independencia en la distribución de apoyos para cada una de las mitades. La distancia entre soportes varía desde 30 a 60, siendo máximas en la solución adoptada con cuatro vanos 54+60+60+54 para la obra principal. La sección transversal de los mismos es rectangular en las dos primeras y circular en las otras dos, resolviéndose, en la adoptada, con una sola fila en el eje de 3,50 m de diámetro, que recogen los dinteles independientes mediante fuertes diafragmas transversales en doble voladizo compensado; sólo en esta solución los apoyos son solidarios del dintel, articulándose con libre desplazamiento en los restantes casos. Hay algunos apoyos pendulares.

Los dinteles independientes para cada dirección de tráfico son de sección alveolar, con uno, dos o tres alvéolos, casi siempre rectangulares, aunque en algunos las vigas laterales tengan forma trapezoidal, y aumentan de dimensiones desde sección central hasta apoyos, con altura constante alrededor de 2,00 m. La solución verdaderamente original fue la de Dywidag de contorno exterior lenticular, con plano superior y dos vigas verticales aproximadamente a los tercios. Esta solución se describe con detalle en la ficha correspondiente a la construcción.



3

Concurso para un viaducto sobre la autopista Berlín-Munich en Munich-Freimann.— L. SCHERBER & K. WINTER. «Bautechnik», 5 mayo 1959, págs. 168-78, 20 figs., lámina III.

Para el paso superior de la autopista se precisaba un viaducto de unos 580 m de largo, porque había que mantenerse elevado para cruzar a distinto nivel, después de la autopista que está en terraplén alto, varias calles paralelas. La pendiente y rampa eran de 3,2 % y 2,4 % con enlace en curva vertical. La sección transversal en la obra varía desde la normal con ancho de 27 m para cuatro circulaciones con márgenes laterales y central, hasta duplicarse (52 m) sobre la autopista para permitir las desviaciones y empalmes con la misma sin interferencias de tráfico. El trazado en planta de los enlaces era libre.

Se presentaron 14 Empresas con una media de dos proyectos por Empresa, no apareciendo soluciones metálicas ni de estructura compuesta, siendo todas de hormigón pretensado. Factor común de todas ellas es la disposición de apoyos mínimos desde una sola hilera, como en las de Dywidag y Wayss & Freitag, con sección circular hueca de gran diámetro tipo Ludwigshafen, a rectangular con alzado trapecial invertido en las de Monierbau y Philipp Holzmann o de V como en Alfred Kunz o Karl Stöhr. En otras soluciones hay doble hilera, con pilares cilíndricos de diámetro 2 m (Strabag y Sagen & Woerner) o doble hilera en agrupaciones de cuatro próximos de 1 m de diámetro, también de este último. En otra solución (Heilmann & Litthann) existen dos filas de columnas con capiteles troncocónicos.

La primera solución de Philipp Holzmann y Beton und Monierbau tenía un gran número de vanos de luz reducida, 20,50 a 26, y uno mayor sobre la autopista de 39,5 m. El dintel era losa de canto uniforme de 1 m con aligeramientos, excepto en el vano mayor, que tiene canto variable de 1,10 a 1,75. Los apoyos son tabiques dobles.

La solución adoptada por el Ayuntamiento en colaboración con el Ministerio de Obras Públicas es también de las mismas Empresas, con luces aproximadamente iguales en toda la longitud (24,5 a 32 m), con dos variantes de columnas o cilíndricas circulares con capiteles de 3 m de diámetro o de sección elíptica con disminución hacia el pie. Esta solución resultaba muy serena desde el punto de vista estético y encajaba en el paisaje urbano con pocos edificios, pero modernos.

4

Concurso de proyectos para la construcción de un viaducto urbano en el Oostal de Baden-Baden. A. LAMMLEIN. «Beton- und Stahlbetonbau», marzo 1958, págs. 49-56, 26 figs.

Este viaducto tenía que cruzar en paso superior, varias vías de ferrocarril, calles y carretera y un arroyo canalizado. Se fijaba el trazado en planta y rasantes, recomendándose la solución en dos tableros independientes sin fijar la situación de los apoyos intermedios, pero animando a separarlos lo más posible y reducirles en sección para perturbar lo menos posible la organización urbana actual y futura. No se permitió nada más que dos soluciones por Empresa Constructora.

Se presentaron ocho Empresas con 15 proyectos, oscilando el presupuesto desde DM. 3.194.000 a 4.184.000. Cuatro proyectos no cumplían las condiciones del Concurso. Se adjudicó a la solución de Wayss & Freytag. El dintel de altura constante consiste en dos cajones independientes trapeciales, cuya tapa se prolonga en amplios voladizos y se apoyan sobre pilares también trapeciales únicos, distribuidos de modo diferente en ambas mitades. Los centrales son solidarios del dintel para absorber los esfuerzos horizontales. Los demás se enlazan con él por articulación deslizante.

En las soluciones restantes abundan los apoyos cilíndricos de alrededor de 1 m de diámetro cuando van apoyados en cada dintel, recibiendo o viga o cajón cada uno o bien viga única que descansa en sus bordes. También en apoyos cuádruples se ha adoptado el tabique trapecial o la sección elíptica.

En todos el dintel es de altura constante y continuo, siendo variable el espesor de vigas o tabiques.

5a

Viaductos en carreteras de gran circulación.—«Concrete & C. E.». Noviembre 1959, págs. 378-80 5 figuras (fotos).

Se pasa revista al mejoramiento de las vías de comunicación por carretera en las proximidades de las poblaciones que han dado lugar a elevar la plataforma en trayectos importantes para salvar otras carreteras, ferrocarriles y ríos.

Se mencionan, como ejemplos característicos, el viaducto de Bruselas, un cruce en bucle completo sobre autopista en Düsseldorf, la carretera circular Quay en Sydney, el viaducto Hammer-smith (8), una carretera de circunvalación en Cardiff, la autopista de Mandenhead con una serie de viaductos de más o menos importancia y un viaducto importante en la autopista de Doncaster con paso sobre el río Don en Sprotborough.

La circular Quay de Sydney forma parte de un complejo vial importante con cuatro autovías radiales y una vía de ronda que las enlaza. El cruce de calles y zonas de utilización en el suburbio ha dado lugar a obras de paso a distinto nivel y algunos viaductos.

El viaducto de Sprotborough cruza el río Don a una altura de 21 m, con una longitud de unos 200 metros, con tablero partido en dos independientes que se sustentan en fila única de robustas columnas hexagonales.

El problema de los viaductos con pilares estrictos.—F. LEONHARDT & W. ANDRA. «Beton- und Stahlbetonbau», junio 1960, págs. 121-32, 35 figs.

Un problema reciente es el de los viaductos para el cruce de vías de comunicación sin interferencias; generalmente corresponden a calles elevadas de poblaciones, pero también en carreteras se presentan casos de gran complicación por reunirse vías de tráfico diversos. Se ha llegado a una solución nueva con apoyos intermedios dispuestos en una hilera o dos de columnas, con lo cual las interferencias son mínimas y quedan espacios muy despejados que pueden utilizarse como parques o en reserva de las necesidades del tráfico inferior.

Uno de los primeros casos donde se aplicó esta solución de una hilera de columnas fue en la autopista Ramona de California, desdoblada en dos tableros con pilares cilíndricos que llegan hasta el plano inferior del dintel (1950). De este modo la situación de los pilares no se modifica, sea el cruce oblicuo o perpendicular. Otro ejemplo característico es el de la rampa de acceso al puente Nordbrücke sobre el Rin en Düsseldorf proyectado por el autor (1954), que corresponde al caso de tablero de gran anchura con doble hilera de columnas.

Se estudia el problema de estas columnas, que es el elemento verdaderamente nuevo del puente. Se clasifican en columnas con doble empotramiento, empotradas abajo y con articulación deslizante arriba, empotradas arriba y con articulación fija o deslizante abajo, columnas pendulares con apoyo lineal, columnas con apoyo puntual. Al final se pasa revista a la morfología de todas las columnas.

Una variante del caso de columna empotrada es la columna "hongo", cuyo ejemplo característico está en la calle elevada de Ludwigshafen, proyectada por Finsterwalder, con una columna cilíndrica hueca de gran diámetro (5 a 7 metros), de la cual vuela el tablero en las cuatro direcciones con ménsulas diagonales. Se constituye así un elemento de puente de planta rectangular con anchura de 10 a 30 m y longitud de 25 a 50 con su columna centrada, que llega a soportar hasta 900 m².

La disposición de juntas transversales en el tablero obligadas por el empotramiento de las cabezas, no es conveniente en climas con heladas frecuentes, por lo cual el autor considera más apropiado el tipo de columnas con articulación deslizante en cabeza. Un ejemplar de este tipo es el puente de Möhringen sobre el Danubio, proyectado por el autor en 1953, con tablero de 11,50 m y apoyos de sección elíptica 3,20/1,80 m, articulados en cabezas por dos péndulos de hormigón armado.

Una variante de estas columnas con articulación deslizante en cabezas es la de columnas con capitel. La presión se reparte en cuatro grupos de rodillos, dos en dirección longitudinal.



viaducto de Tausendfüßler

viaducto de Schmargendorf

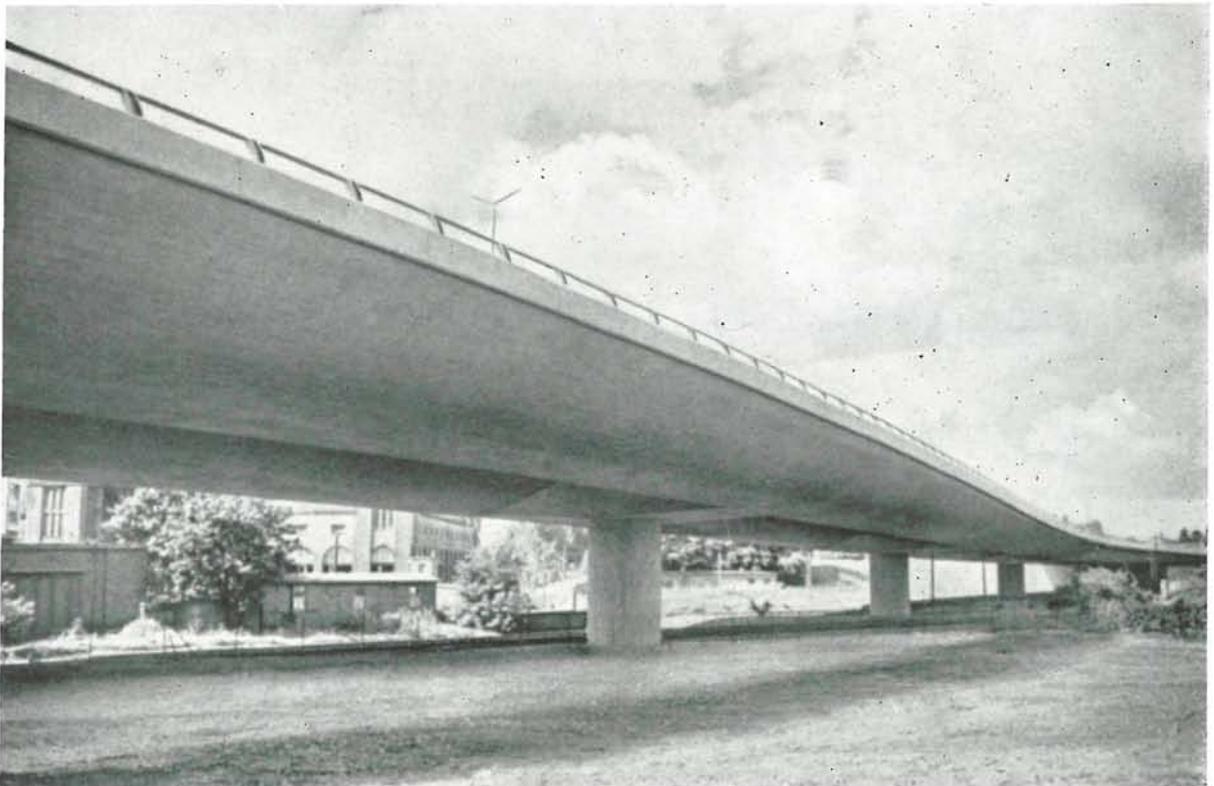
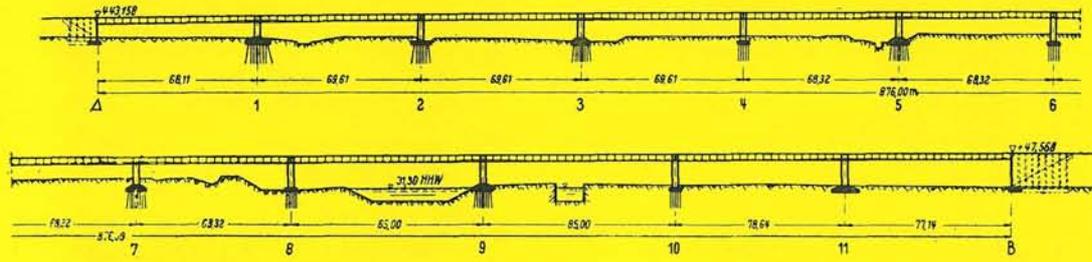
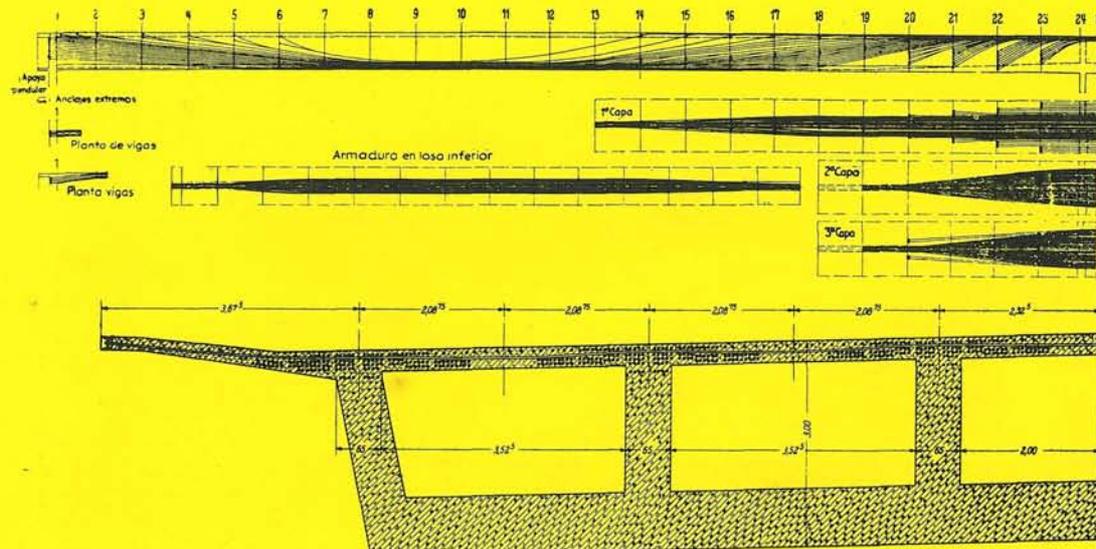
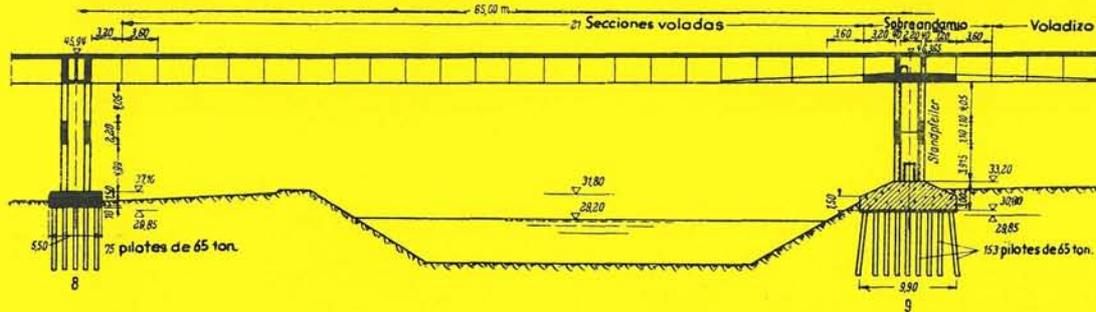
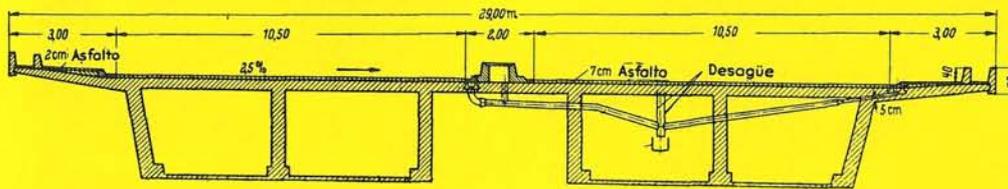


lámina IV

viaducto Nordwestbogen en Berlin



SECCIÓN TRANSVERSAL POR DINTEL



El viaducto Nordwestbogen, en la vía de ronda de Berlín. — H. HEUSEL. «Bauingenieur», mayo 1959, páginas 169-78, 17 figs. Información Diwidag, lámina IV.

Este viaducto de hormigón pretensado se adjudicó a la solución de Dyckerhoff & Widmann en concurso de proyecto-construcción en el año 1957, siendo construido por esta empresa en colaboración con Beton- und Monierbau y Philipp Holzmann durante los años 1958 y 1959. Se visitaron las obras con ocasión del Congreso de la FIP en Berlín, 1958, en el mes de mayo.

Consta de doce vanos con luces de $4 \times 69,61 + 4 \times 68,32 + 2 \times 85 + 78,64 + 77,14$, cruzándose el Spree en una de las luces máximas. El tablero tiene un ancho total de 29, con dos calzadas útiles de 10,50 m, separación intermedia de 2,00 y aceras laterales de 3,00 m. La longitud total, de 906 m, está en planta curva de clotoide con radio medio de 2.000 m, correspondiéndole al tablero la inclinación transversal del peralte.

La estructura se organiza longitudinalmente en una serie de elementos T, que comprenden un pilar entre dos dinteles que se solidarizan con él; por sus otros extremos se apoyan simplemente en los pilares adyacentes. De este modo la estructura, que es hiperestática, no queda afectada por las variaciones de temperatura, retracción y deformaciones lentas. En estructura transversal tenemos dos vigas cajón bicelulares que, al llegar sobre el apoyo, se convierten en una sola de cinco alvéolos con una losa inferior de mayor espesor, es decir, 85 cm en lugar de 12. El espesor del forjado superior es constante (30 cm) y los diafragmas verticales los internos y con una ligera inclinación los externos tienen espesor variable (40 a 65 cm). El ancho total de tablero solidario de las vigas es de 22 m, siguiendo en voladizo a ambos lados 3,35 m. La altura constante del dintel es de 3,00 m.

Existe un pretensado longitudinal y un pretensado transversal, ambos de tipo Dywidag con barras de 26 cm. A cada diafragma le corresponden, precisamente, 72 barras en las zonas centrales de los vanos mayores y 160 sobre el apoyo central. Estas barras se enlazan unas con otras para dar continuidad a la armadura, pero tres mueren en secciones verticales que corresponden precisamente a las juntas de hormigonado. El pretensado transversal se realiza con barras que van de uno a otro borde con un contorno ligeramente ondulado.

Los apoyos tienen una forma en H con tabiques externos que parten de los planos axiales de los diafragmas internos del dintel. En los pilares solidarios del dintel las dos H paralelos forman verdadero cajón, pero en los pilares de simple apoyo estas dos H son independientes y reciben las extremidades de cada uno de los dinteles funcionando como bielas para la libertad de dilatación. La cimentación se llevó a cabo con pilotes "in situ" reunidos en grandes zapatas rectangulares de 3,20 m de espesor y $9,90 \times 18,70$ con 153 pilotes de 65 toneladas en los fijos y de $5,50 \times 1,50$ con 75 pilotes en los de simple apoyo.

Los tramos de 85 m se construyeron por el típico procedimiento Dywidag de avance en voladizos sucesivos por secciones de 3,60 m de longitud, partiendo desde el pilar central y llegando en vuelo hasta 10 secciones por cada lado. A partir de ésta se utilizó una sustentación complementaria con cables, y desde el sector 17 hasta el final se introdujeron andamios, pues ya se había salvado el cauce del Spree.

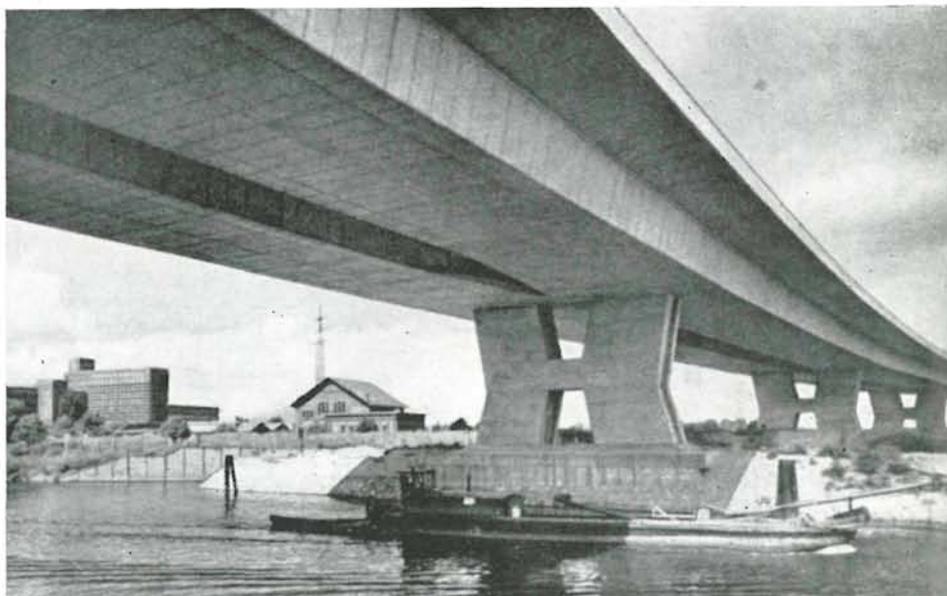
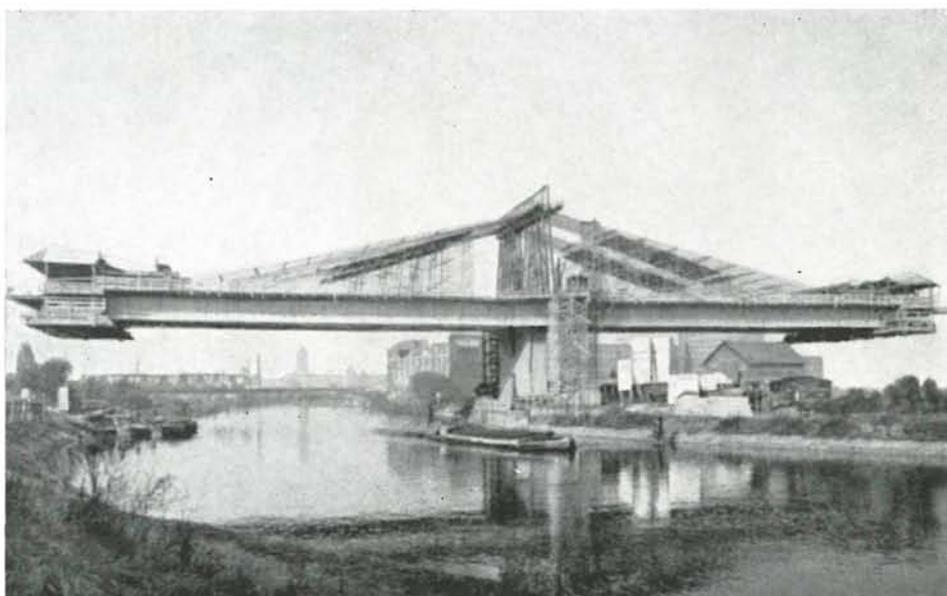
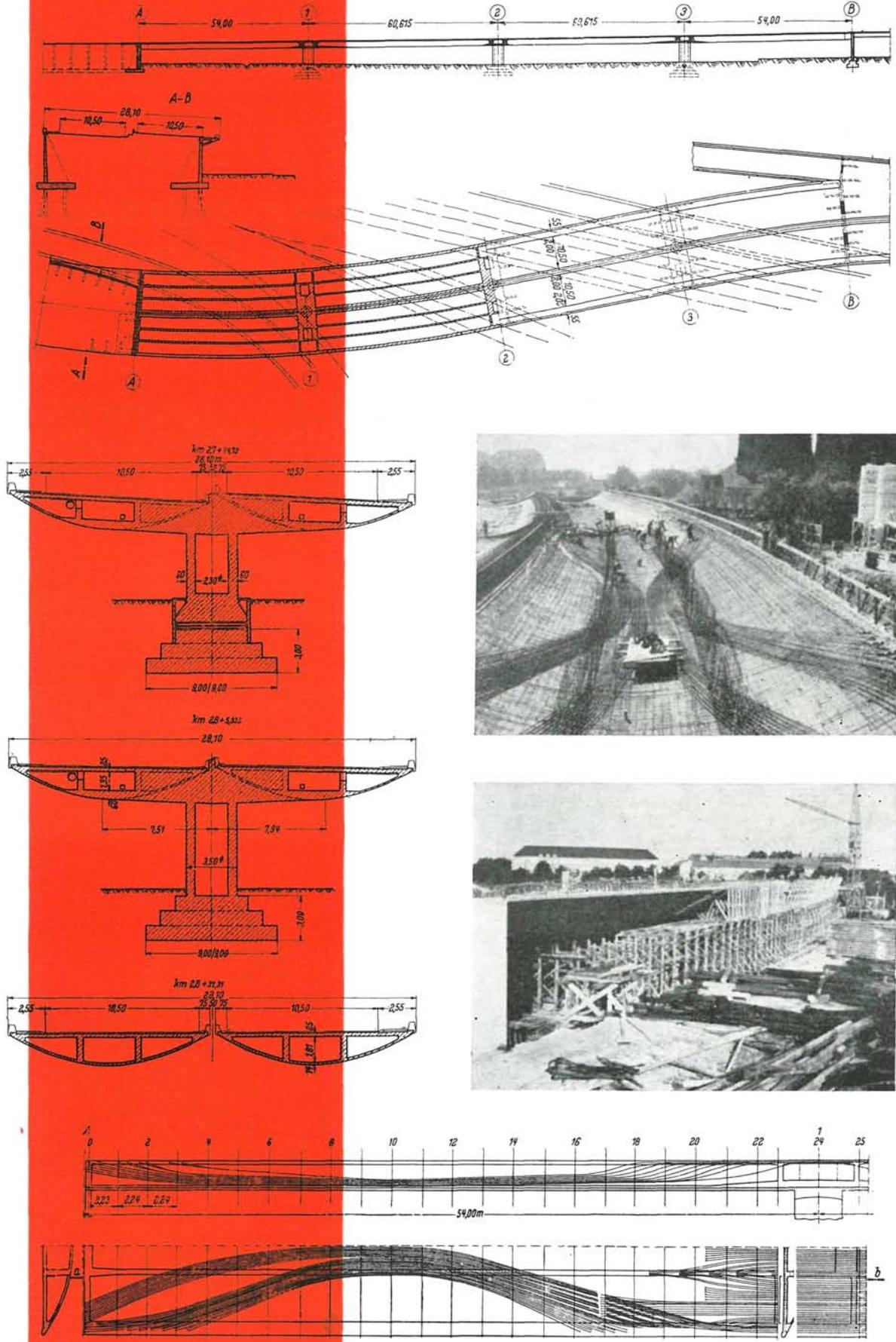


lámina V

viaducto de Schmargendorf en Berlín





El viaducto Schmargendorf en la vía de ronda de Berlín.—H. HEUSEL. «Beton- und Stahlbetonbau», septiembre 1960, págs. 200-5, 18 figs.

Este viaducto fue objeto de un concurso de proyecto-construcción (2), siendo adjudicado a la Empresa Dyckerhoff & Widmann, entre las soluciones, todas de hormigón presentadas por once empresas constructoras. Se introdujeron algunas modificaciones y se construyó por un consorcio de empresas de la adjudicataria con Grün & Bilfinger y Siemen-Baunion, por un presupuesto de 5.563.000 DM., que correspondía a un precio, por metro cuadrado para la obra principal, entre 410 y 425 DM.

La obra principal consta de cuatro vanos, $54 + 60,615 + 60,615 + 54$ m, sobre una sola fila de soportes circulares de sección hueca, con 3,50 m de diámetro exterior y 60 cm de espesor. Estos pilares son solidarios de los dinteles, a los que se enlazan mediante diafragmas fuertemente pretensados en doble ménsula simétrica, quedando empotrado a cimientos el central, mientras que los otros dos quedan articulados en los pies a lo largo de un contacto lineal entre placas de acero. En las extremidades existen apoyos rectangulares pendulares ($2 \times 4 \times 0,40$).

El dintel se descompone en dos mitades a lo largo de la línea media longitudinal, teniendo cada una una sección alveolar de contorno lenticular, con un límite superior recto de 13,80 m de ancho, e inferior parabólico de 2,20 de flecha y espesores de 25 y 14 cm, respectivamente, en la sección media, variando el inferior según la proximidad a los apoyos hasta 65 centímetros.

La armadura longitudinal de pretensado se distribuye en lámina inferior siguiendo la dirección de las isostáticas de tracción, y una parte menos importante en los diafragmas verticales. En la cara superior se coloca armadura en las zonas inmediatas a los apoyos. La armadura de pretensado transversal consiste en un redondo de 26 mm cada 30 cm en tablero.

En el cálculo se consideró la estructura longitudinal íntegra como pórtico de cuatro vanos. En los pilares circulares no aparecían tracciones, incluso en el caso más desfavorable de un tramo cargado y el otro descargado.

En el cálculo de la estructura transversal, el elemento más importante es la viga sobre apoyos que recibe en sus ménsulas cada uno de los dinteles. Tiene un espesor escalonado, empezando por 6 m entre diafragmas interiores, para alcanzar después los diafragmas exteriores en dos elementos de 1,60 m cada uno. Han de resistir a flexión, pero también a torsión de gran consideración. La armadura en el centro se compone de $240 \varnothing 26$ mm tipo Dywidag.

Cada uno de los dinteles se ha supuesto empotrado en las vigas transversales transmitiéndole las cargas a éstos, en parte por efecto-viga como en un dintel de puente normal, y en parte por efecto-lámina en la que, al contrario del caso de cubiertas, la lámina trabaja a tracción. Se ha supuesto en el caso de este puente que estos efectos eran análogos, considerando en las vigas únicamente la mitad de las cargas que les corresponderían de no existir lámina curva. Para el cálculo del tablero es preciso tener en cuenta la existencia de estas fuerzas de descarga ascendente localizadas en los planos de las vigas, aunque se suponen repartidos triangularmente a ambos lados de éstas.

El proceso constructivo se estudió cuidadosamente llevando dos tramos simultáneamente, empezando por las láminas curvas de un trozo, siguiendo a la zona inferior de la viga transversal, para continuar por tablero con diafragmas en el primer tramo, láminas curvas del segundo tramo, zona superior de la primera viga transversal, zona inferior de la segunda, tablero del segundo trozo con sus diafragmas y parte superior de la segunda transversal.



Proyecto del viaducto de Hammersmith (Londres) de hormigón pretensado prefabricado.—«Concrete & C. E.», agosto 1960, págs. 307-12, 4 figs.

Viaducto de unos 600 m de longitud para calzada de cuatro circulaciones con anchura total de 13,50 m, que cruzará una serie de carreteras y zonas de parque con una altura mínima de 5 m. El dintel continuo se apoyará sobre 15 pilares a una distancia de 42,70 m, y se construirá por rebanadas para enlazarse mediante pretensado longitudinal. Este se llevará a cabo mediante cables de $1\frac{1}{8}$ " externos al hormigón, alojados en conductos que atraviesan las diferentes rebanadas y se apoyarán en topes de acero que definirán su forma poligonal, anclándose en la superficie superior del tablero. El pretensado transversal se realizará con barras de $1\frac{1}{4}$ ".

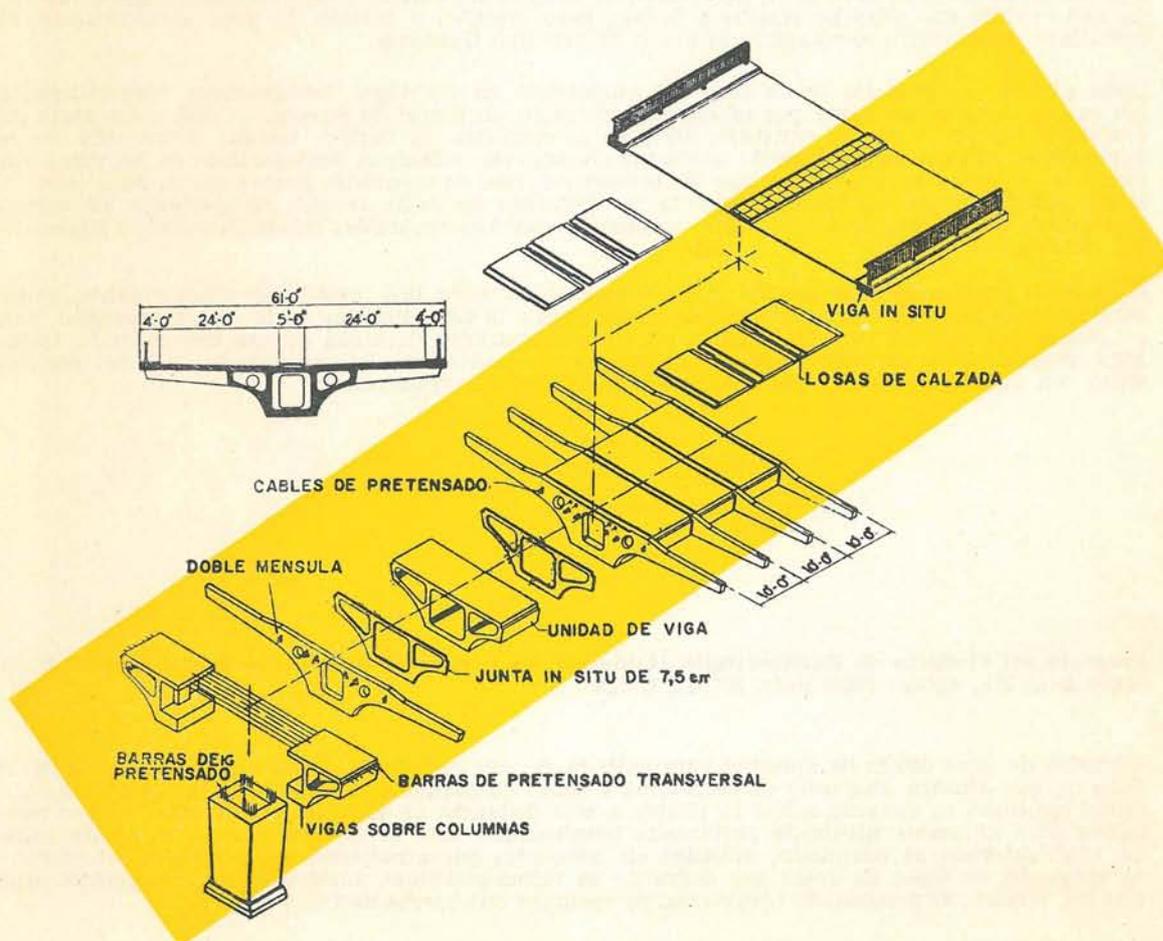
Los elementos del dintel son de dos tipos: uno que tiene la sección transversal de la viga resistente, y otro, que prolonga esta viga con dos ménsulas para soportar la parte de tablero excedente de la viga. Entre cada dos elementos se ejecutará una junta "in situ" de 3" (7,5 cm).

Los pilares, que son rectangulares en cajón, se pretensan también verticalmente, quedando en solidaridad con la rebanada de viga que corresponde al ancho de apoyo, la cual se moldea en dos mitades.

Para evitar los esfuerzos debidos a cambio de temperatura, retracción y pretensado longitudinal, los pilares van sustentados sobre rodillos y placas de deslizamiento para que pueda producirse el corrimiento horizontal de los pies de los pilares. Este corrimiento se prevé hasta de 15 centímetros.

En el cálculo se ha supuesto que los esfuerzos de la estructura longitudinal los absorbe únicamente la viga central, sin intervención del forjado posterior ni de las vigas de borde construidas "in situ". Para los esfuerzos de torsión se supuso la viga como empotrada en secciones extremas, lo que es desfavorable con respecto a la realidad, puesto que los pilares absorberán una parte del momento de empotramiento deformándose por flexión transversal y, además, lo transmitirá al dintel adyacente. Para el cálculo de las tensiones tangenciales debidas a la torsión, se utilizó la analogía de la membrana. Las tensiones máximas obtenidas se combinaron con las de cortadura por flexión, calculándose las tensiones principales de tracción resultantes en las secciones de apoyo, las cuales debían ser inferiores a 10 kg/cm².

Para asegurarse de los resultados del cálculo y determinar las concentraciones de tensiones en los ángulos de la sección transversal, se hizo un estudio fotoelástico de la misma. Además, se construyó un modelo a escala 1/12 con cuatro unidades de viga y otras tantas de ménsula, y se probó hasta rotura cargándola asimétricamente en una de las mitades, llegando a unas condiciones de rotura de 1,5 CP + 2,5 SC.



El viaducto urbano de la autopista Munich-Berlín, en Munich-Freiman.—L. SCHMERBER & K. WINTER; G. KIRCHNER & K. WIMMER. «Bautechnik», septiembre 1960, págs. 325-41. 29 figs.

Este viaducto corresponde al paso superior de la autopista Berlín-Munich por un conjunto de calles del suburbio de esta última ciudad, y sobre una línea férrea doble vía, estableciendo, además, los enlaces mediante rampas con las callas más importantes. Se adjudicó en concurso a la empresa constructora Philipp Holzmann, que se asoció para la construcción con Beton-und Monierbau con Hel & Franke.

El ancho normal de la autopista es de 28 m, pero la plataforma se ensancha para recibir las confluencias con las dos rampas de acceso, que desembocan una a cada lado del tablero. La longitud de la obra es de 586,4 m, y la superficie total de plataforma de unos 2.100 m², existiendo 53 columnas a separaciones longitudinales entre 26 y 30,50 con un vano extraordinario de 40,50 en el paso sobre ferrocarril y separación máxima transversal de 14 m. Los pilares son de forma troncocónica, con fuste de 1 : 30 y diámetro de 2 m en la base, excepto los del paso de ferrocarril cuyo fuste es de 1 : 40 y diámetro de 3 m y son todos de la misma altura, variando la profundidad del cimientado para utilizar los mismos encofrados. Las articulaciones en cabeza son de dobles péndulos de acero, que en los que se separan más de la dirección longitudinal se complementan con una capa de rodillos de acero en dirección perpendicular.

El dintel es de sección alveolar, con tabiques verticales a 2,20 de separación, anchura variable desde 27 a 28,50 m, altura mínima de 1,14 m, correspondiéndole voladizos a ambos lados de 3,00 m de vuelo. El pretensado longitudinal y transversal se hizo por el sistema Holzmann, con mazos de 113 t, disponiendo este último en dirección paralela a las filas de apoyos y en losas superior e inferior, pero sólo en las inmediaciones de éstos con mazos de 35 t. En el vano correspondiente al ferrocarril se hizo el pretensado desde las dos extremidades del vano, mientras que en los otros sólo se operó desde un extremo, disponiendo los cables en horquilla; una viga transversal de la misma altura del dintel enlaza las cabezas de todas las longitudinales, teniendo sección doble T con pretensado de consideración.

Se dispuso toda la estructura sin juntas con los pilares fijos en el vano correspondiente al paso sobre el ferrocarril. Se tuvo en cuenta la deformación transversal que se produce por cambios de temperatura al ser curva la planta, disponiendo las articulaciones del borde convexo con posibilidad de movimiento en todas direcciones.

En la distribución transversal de cargas se consideró la sección formada por los forjados y vigas como una viga Vierendel, apoyada elásticamente sobre las longitudinales, pero no se tuvo en cuenta la deformación de las vigas transversales en secciones de apoyos dada la gran rigidez de las mismas.

Se hizo un estudio concienzudo de los efectos de la retracción y fluencia lenta en las pérdidas de pretensado, teniendo en cuenta la gran longitud sin juntas y la planta curva del tablero.

El viaducto urbano de Chiswick, cerca de Londres.—«La Technique des Travaux», marzo-abril 1960, páginas 115-20. 12 figs.

Se proyectó para descongestionar un nudo de tráfico donde se cruzaban a nivel varios itinerarios, entre ellos el del aeropuerto de Londres, con circulaciones de 40.000 vehículos por día. Mediante la construcción de un viaducto de 800 m de longitud, se han enlazado directamente las dos vías de tráfico más intenso, pasando sobre una glorieta de unos 120 m de diámetro, en la que convergen las demás vías, que se enlazan a él mediante rampas de acceso.

Había que reducir a un mínimo la demolición de edificaciones, perturbar lo menos posible la circulación durante la obra y tener en cuenta las redes de conducciones para disponer las cimentaciones.

La obra comprende el viaducto propiamente dicho, compuesto de cuatro tramos de 38 m con 18 de anchura, que sirve a dos calzadas de 7,30 m, con separación central de 1,52; rampas de acceso laterales con pendientes máximas del 2,5 % o del 5 %, según los casos, y un paso oblicuo sobre calle de 21 m de luz y 37,80 de anchura (vía principal más dos rampas de acceso).

Para causar la menor perturbación durante obra, se ha recurrido a la prefabricación, organizando cada tramo en dintel independiente, compuesto de 15 vigas de perfil T invertida, adosadas por cabezas inferiores y reunidas superiormente por tablero moldeado "in situ". Cada viga se ejecutó en un taller alejado en tres trozos de 11,60 + 14,52 + 11,60, cuyo peso máximo era 33 t, los cuales se transportaron a obra y se enlazaron en su sitio elevándolos mediante grúa de 45 t, sobre estribos y dos soportes provisionales, que no perjudicaban al tráfico. Las operaciones sucesivas por viga eran rellenar las juntas, introducir los cables de pretensado, que eran 18, con doce alambres de 7 mm, tipo Freyssinet, los cuales se tesaban a los tres días (el mortero de juntas tenía entonces 400 kg/cm² de resistencia). La segunda fase correspondía a las vigas transversales, que eran 13 por viga, rellenándose las juntas y tesándose los cables como en el caso anterior. La tercera fase consistía en hormigonar el tablero.

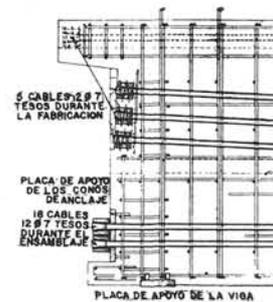
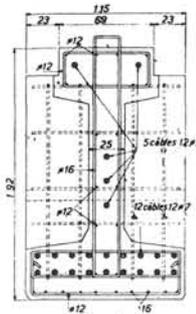
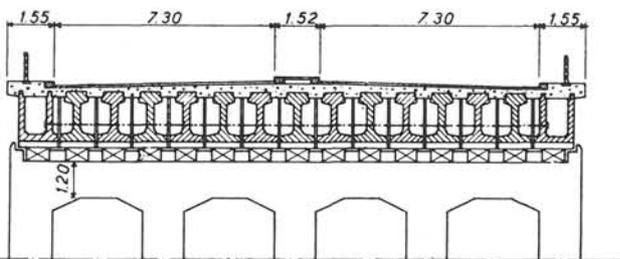
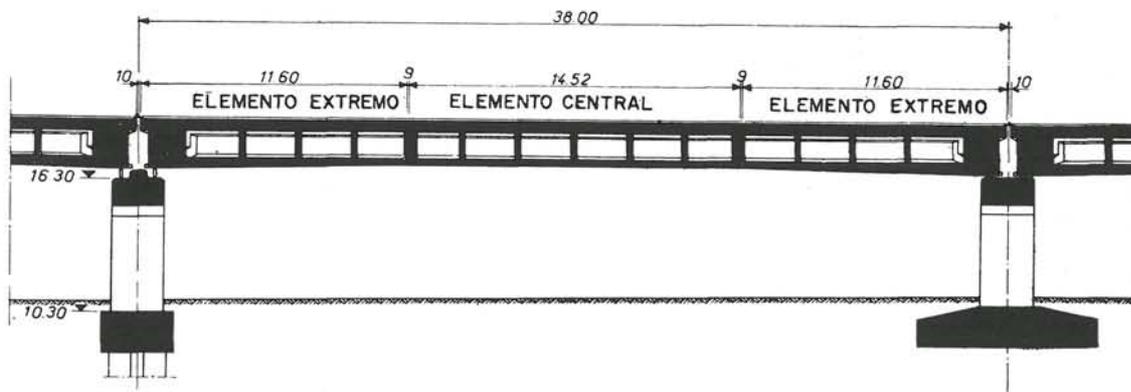
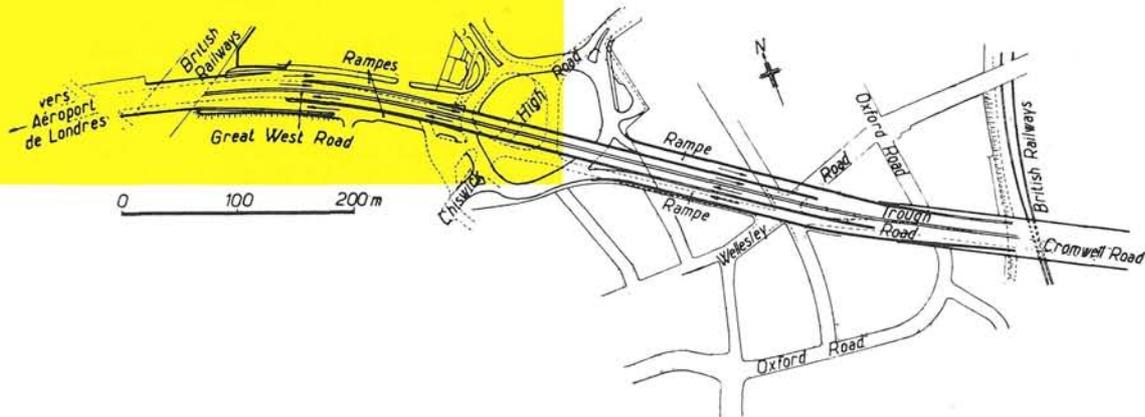
Durante el transporte, los elementos extremidad llevan cinco cables que se tesaban desde el principio. En cambio, los elementos intermedios llevan sólo un cable, y su resistencia en el transporte se confió a la armadura de acero dulce complementaria. Para la solidarización con el tablero superior, los cercos de las vigas se prolongan fuera de la cabeza superior.

Las sustentaciones de los tramos son fija y móvil sobre un mismo apoyo, con articulaciones de acero inoxidable en forma de bielas para las móviles.

El hormigón se proyectó para una resistencia de 525 kg/cm², a los 28 días, y el tesado de los cables se llevó hasta 110 kg/mm². Se hizo una prueba preliminar hasta rotura de una viga idéntica en dimensiones y proceso constructivo, cargándola en dos secciones simétricas a 9 m de distancia, comprobando el coeficiente de seguridad real, que era de 3 con relación a carga + sobrecarga.

lámina VI

viaducto urbano de Chiswick cerca de Londres

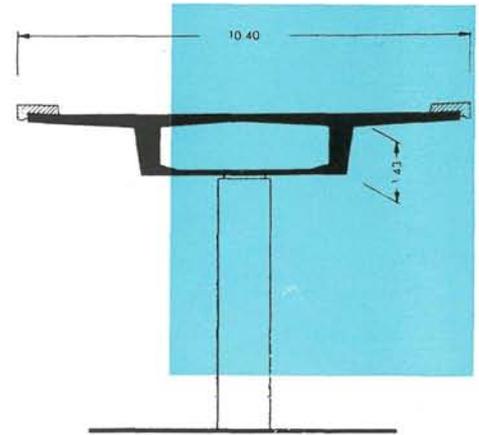
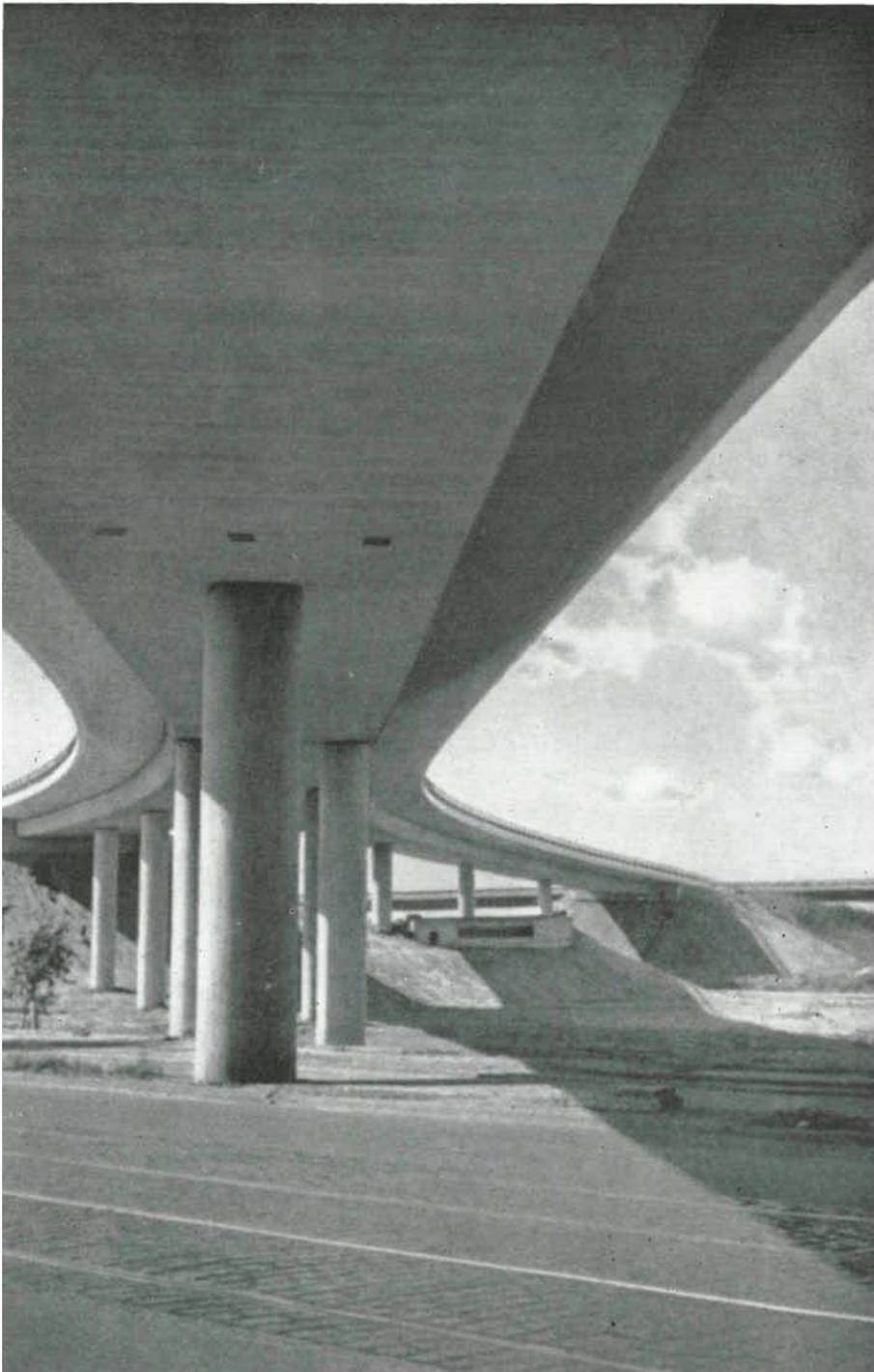


El viaducto de la calle Pariser, en el complejo viario del puente de Nordbrücke, en Düsseldorf.—R. AU-BERLEN & E. BEYER. «Strasse und Autobahn», agosto 1960, pág. 325. Información Dywidag, 1960.

Forma parte del nuevo sistema de vías rápidas de la ciudad de Düsseldorf en la zona afectada por la apertura del puente Nordbrücke sobre el Rin, y pasa sobre la calle Pariser. Como en él confluyen las rampas de enlace con el sistema viario actual, el ancho de la plataforma es variable desde 10,40 a 22,00 metros, con enlaces en abanico que le dan planta curva.

El dintel es el típico cajón rectangular de 1,43 m de altura y de ancho del cual vuelan por ambos lados el tablero. Las distancias entre apoyos, que se ordenan en una o dos filas según la anchura, varía con máximo de 38 m. La superficie total de plataforma es de 3.800 m².

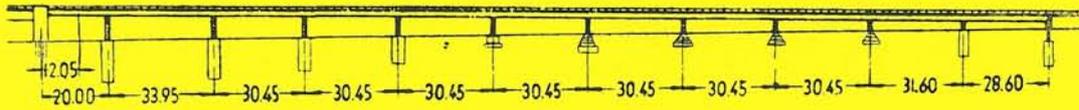
Se proyectó por la Municipalidad de Düsseldorf, con la colaboración de los ingenieros Leonhardt y Wintergerst, y el arquitecto F. Tamms. La construcción se llevó a cabo en 1960 por Dyckerhoff & Widmann, empleando su sistema de pretensado.



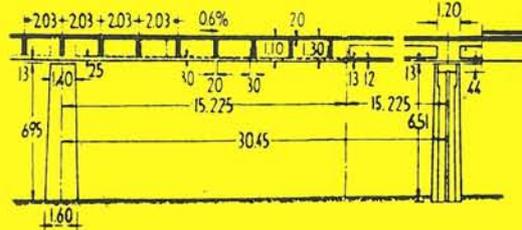
viaducto de la calle Pariser

Lámina VII

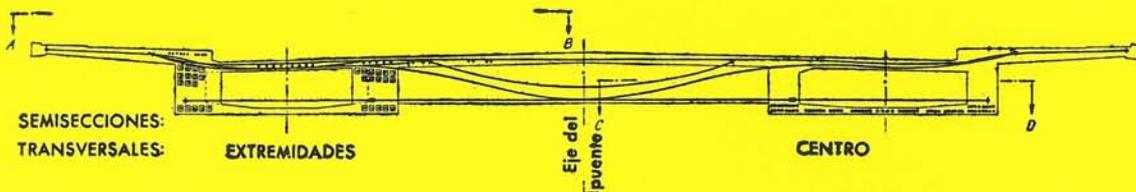
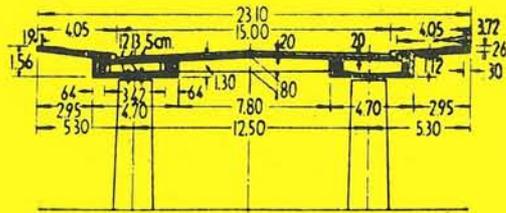
viaducto de Tausendfüssler en Düsseldorf



SECCIÓN LONGITUDINAL



SECCIÓN TRANSVERSAL

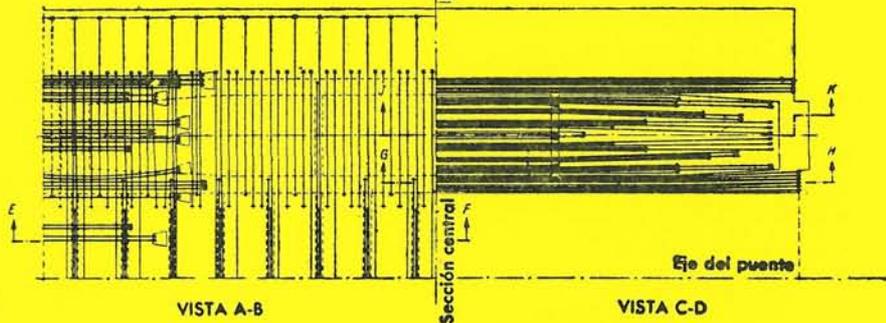


SEMISECCIONES:
TRANSVERSALES:

EXTREMIDADES

CENTRO

Eje del
puente



SEMIPLANTA

VISTA A-B

VISTA C-D

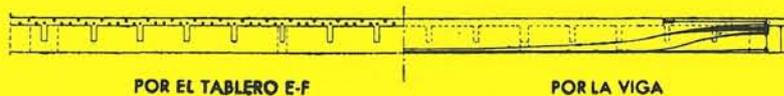
Sección central

Eje del puente



SECCIÓN LOSA INFERIOR

SECCIÓN
LONGITUDINAL:



POR EL TABLERO E-F

POR LA VIGA

12

Viaducto de acceso lado Düsseldorf (Tausendfüßler) al puente Nord, sobre el Rin, en Düsseldorf.— H. SCHMITZ. «Nordbrücke Düsseldorf», págs. 105-115. 10 figuras. Düsseldorf, 1958. «Morsch», pág. 215, lámina VII.

Viaducto en rampa del 6 % para acceso al puente sobre el Rin, con una longitud total de 282, desarrollados en una curva de 3.000 m de radio. Los vanos son normalmente de 30,45 m, salvo las parejas extremas, que son de 20 y 33,95 por el lado del puente principal y de 28,60 y 31,60 del lado opuesto. El ancho total del tablero es de 2.260, con calzada de 15 m, zona de bicicletas de 1,80 m a cada lado, aceras elevadas de 1,00 en ambos bordes y dos zonas de resguardo entre calzada y bicicletas de 1,00. Los apoyos son pilares casi cilíndricos con sección elíptica, distribuidos en dos filas a 12,50 m de separación entre ejes.

La estructura longitudinal es tramo de varios vanos con apoyo fijo en el central. En estructura transversal se disponen dos vigas cajón de 4,70 m de ancho, dejando una separación entre ellas de 7,80 m y voladizos a ambos lados de 2,95 m. La altura media de estas vigas es 1,22; el grueso de los tabiques, 64 cm; el espesor de la losa superior constante, 20 cm; mientras que el de la inferior varía longitudinal y transversalmente. En el espacio de 7,80 que media entre los carros interiores de las vigas cajón se dispone un forjado de 20 cm con viguetas de 1 m de altura a separación de 2,30.

Existen pretensados longitudinal y transversal de importancia este último, dada la gran separación entre filas de pilares. El sistema es Dywidag con barras de 26 mm, y las barras longitudinales se distribuyen en la cara inferior de las vigas cajón, anclándose una parte en puntos intermedios de esta misma losa, y la otra parte pasa a la cara superior en las zonas inmediatas a los apoyos, dando continuidad a la armadura. Sobre los apoyos existen 60 barras por viga.

El pretensado transversal lleva barras a través del forjado, que van de un borde al otro del mismo, con perfil ondulado para conseguir excentricidades convenientes en todas las zonas. Este pretensado se complementa con el de las vigas transversales, en las cuales tenemos barras en cara superior, barras en cara inferior y barras que pasan de una cara a otra.

Los pilares son huecos revestidos de piedra, y por el interior bajan los tubos de desagüe del tablero. La sustentación del dintel se verifica a través de rodillos que permiten la libre dilatación, distribuidos en un ancho conveniente, para que las reacciones del pilar sean siempre ascendentes.

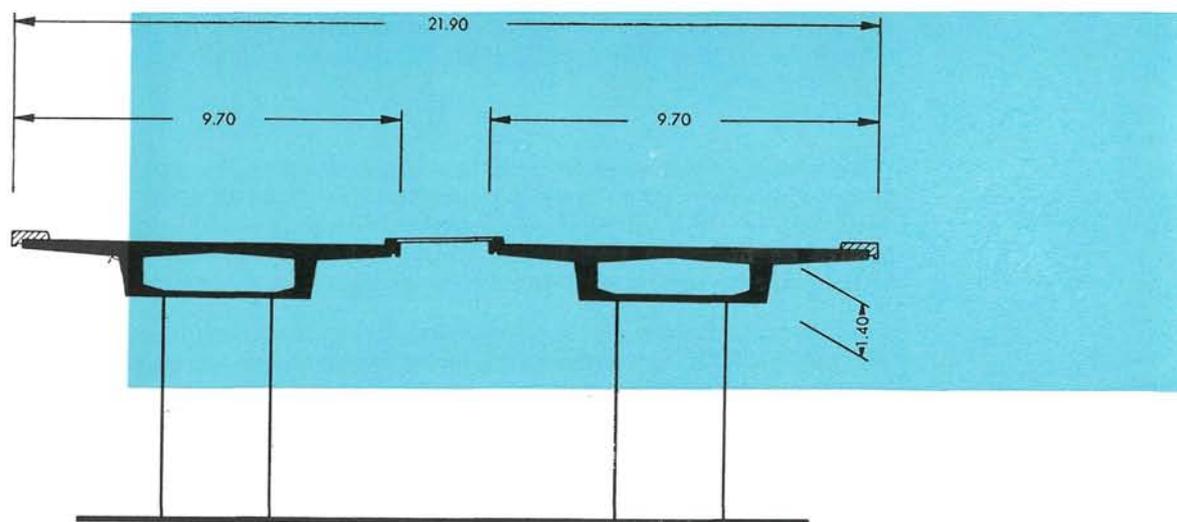
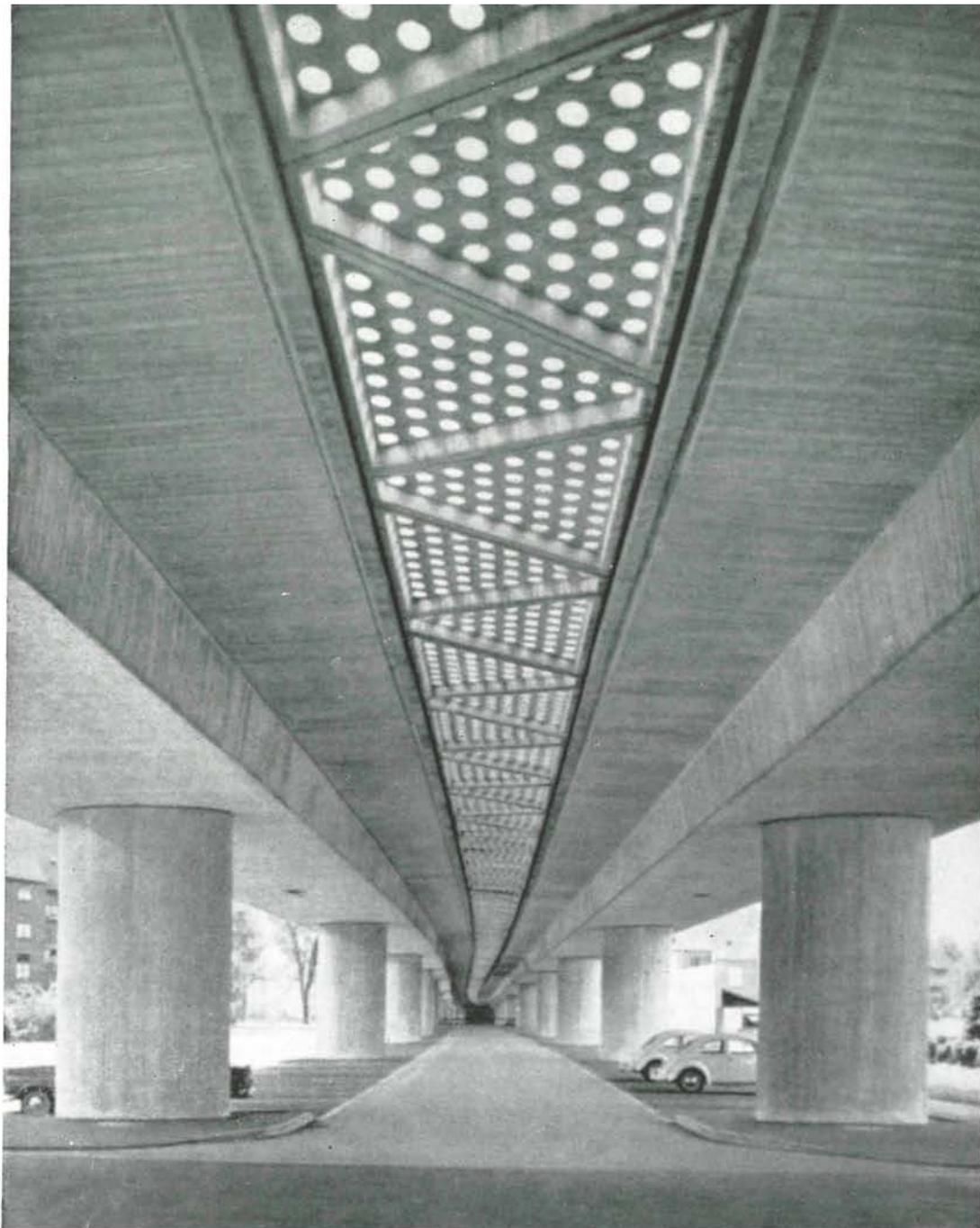
13

El viaducto de la calle Benediktus en el complejo viario del puente Nordbrücke, en Düsseldorf.— R. AUBERLEN & E. BEYER. «Strasse und Autobahn», agosto 1960, págs. 325-6. Información Dywidag, 1960.

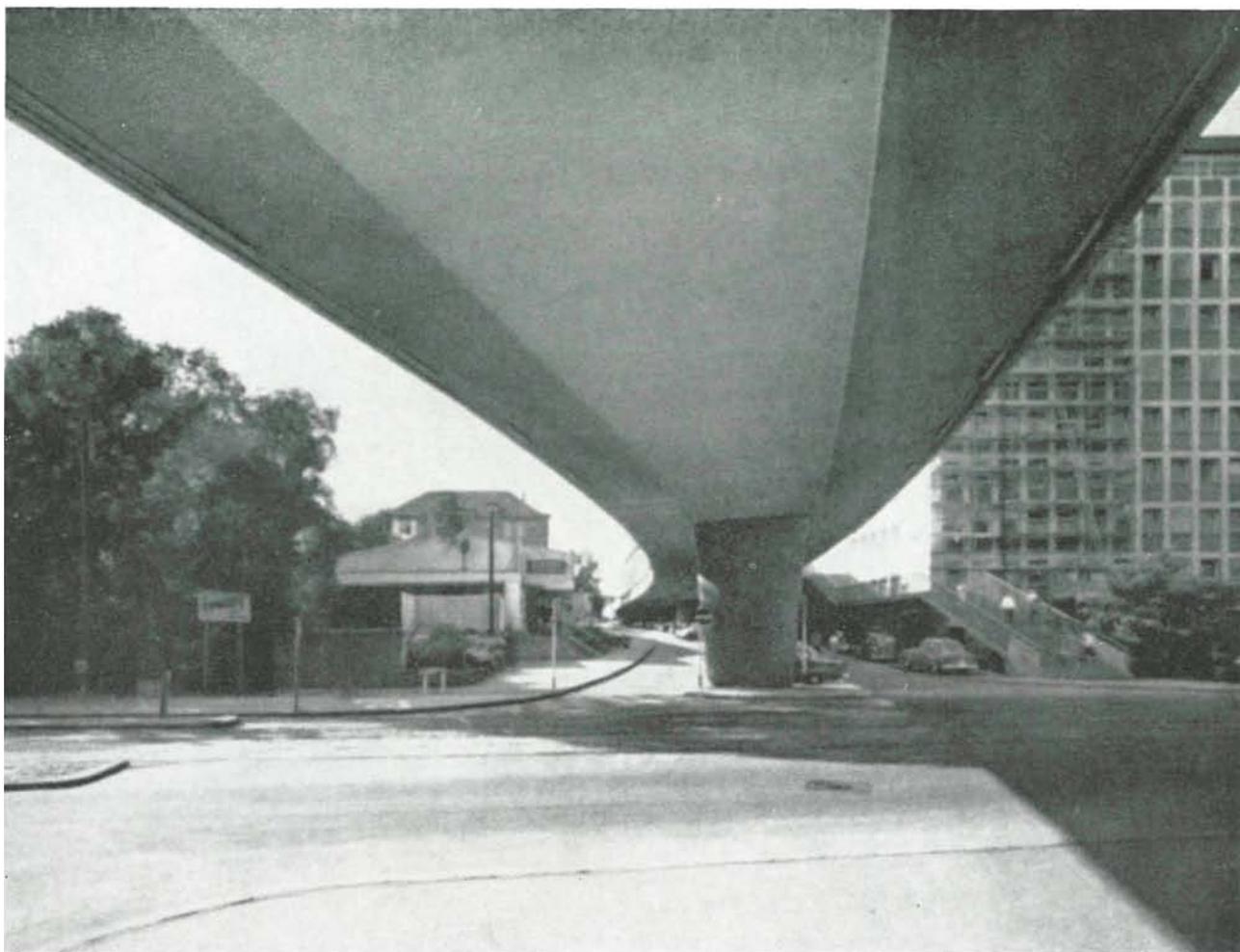
Tiene una superficie total de unos 7.600 m², atravesando la calle Benediktus, en Düsseldorf. Está desintegrado en dos partes independientes desde el punto de vista estructural, y con un ancho de 9,70 m útil. Existe un espacio de 2,50 m entre las partes, relleno por losas triangulares de hormigón translúcido prefabricadas, que dan una luz muy agradable al espacio inferior que se utiliza para circulación de peatones y estacionamiento de coches.

Cada viaducto independiente tiene dintel de cajón rectangular sobre hilera única de columnas cilíndricas. El cajón tiene una altura constante de 1,40 m y anchura de 4,70 metros.

El proyecto se redactó por el Ayuntamiento de Düsseldorf con el asesoramiento de los ingenieros Leonhardt y Wintergerst, y construido en colaboración por Dyckeroff & Widmann en los años 1958-59.



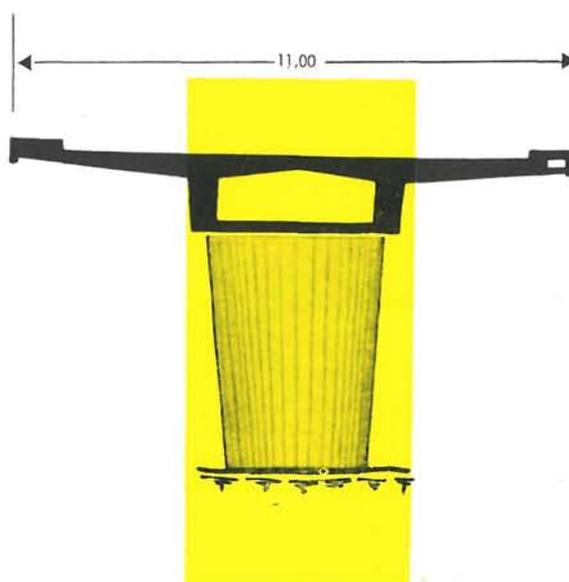
viaducto de
la calle Be-
nediktus en
Düsseldorf

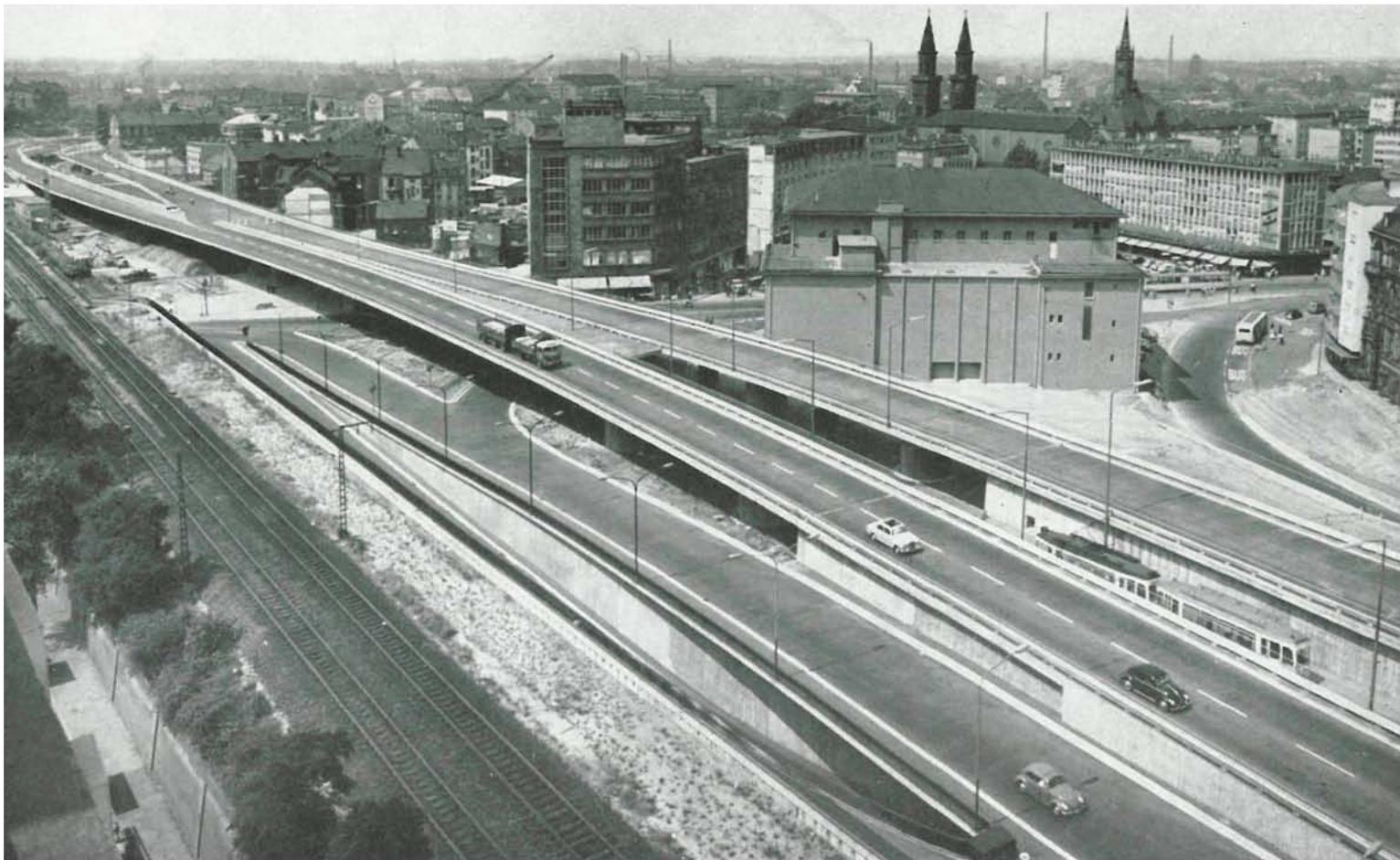


14

El viaducto urbano de la calle Paulinen, en Stuttgart. — Información Diwidag, 1960.

Viaducto de 222,2 m de longitud y 11 m de anchura total de dintel continuo sobre fila única de siete pilares, con separaciones variables desde 20,5 a 34,5 m. Estos son troncocónicos de sección anular y se articulan libremente en el dintel, que es de sección cajón rectangular con 4,40 m de anchura y soporta voladizos de 3,30 m. Su planta es ligeramente curva.



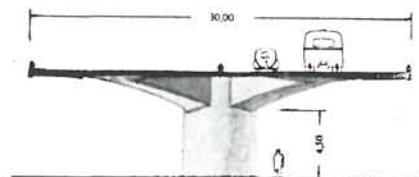
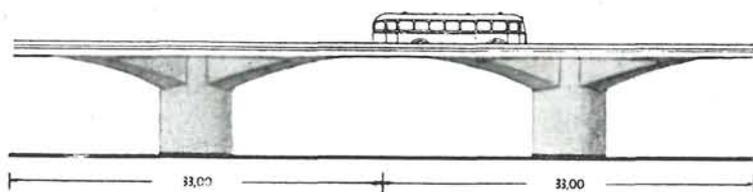


15 El viaducto urbano de Ludwigshafen, de hormigón pretensado. — Información Dywidag.

Viaducto de cruce de varias calles, algunas oblicuas, en los suburbios de esta ciudad, con planta que empieza ocupando todo el ancho de calzada, pero que luego se desdobla al bifurcarse las dos direcciones de tráfico para dejar espacio a una línea de tranvía en nivel inferior.

Se utiliza una sola hilera de columnas, organizando la estructura en elementos formados por una columna central de la que emergen cuatro grandes ménsulas a 45° del eje longitudinal que llegan hasta el borde del tablero sustentando una superficie rectangular de tablero que llega a tener hasta 33×30 m². La separación de las columnas es variable con máximo de 33, y el ancho también, llegando hasta 30 metros.

El área total del tablero es de 13.600 m² y se ejecutó por la Empresa Dyckeroff & Widman, con su sistema de pretensado y en colaboración con otras empresas durante el año 1958.



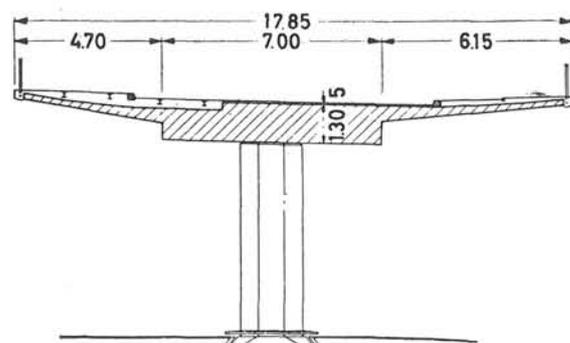


16 Viaducto de acceso al puente Severin sobre el Rin, en Colonia. — «Bautechnik», 6 junio, págs. 225-33 Información Dywidag, 1960.

El puente Severin es un puente metálico de cables rectos que se adjudicó en proyecto de concurso-construcción, habiendo concurrido una solución de puente pretensado de cinco vías el central, de 208 m, con dintel de tipo especial "Perforalia", de la Empresa Dyckeroff & Widmann, para construir sin andamio por avance en voladizos sucesivos.

También fueron objeto de concurso las rampas de acceso, adjudicándose a la citada empresa constructora en solución de hormigón pretensado. El dintel es continuo de losa maciza rectangular con espesor de 130 cm en una anchura de 7,00, volando el tablero 4,70 m por la zona de circulación de los tranvías y 6,15 por la opuesta, donde está el andén y la pista de bicicletas. La separación entre pilares, de sección octogonal, varía desde 9,5 a 28 m, y la anchura, desde 9,5 a 28 m. Según la zona, existen una o dos hileras de pilares.

Se construyó en colaboración durante los años 1958-59.



Viaducto sobre el Oostal, en Baden-Baden, de hormigón pretensado. — A. LAMMLEIN. «Beton- und Stahlbetonbau», marzo 1958, pág. 49; junio 1959, págs. 161-167; agosto, págs. 197-200, 23 figs., lámina VIII.

Este viaducto sirve al enlace de Baden-Baden con la autopista Karlsruhe-Basilea y pasa sobre el valle Oostal en plena zona del balneario, cruzando además por encima de un canal, de una calle y del ferrocarril doble vía Baden-Oos-Baden-Baden. Esta serie de vías cortadas y la imposibilidad de colocar un terraplén importante en la zona balnearia ha determinado un viaducto de gran longitud, aproximadamente 420 m, con alturas variando desde 6,00 m en el cruce con el ferrocarril a 11,50 en el centro del valle. Consta de dieciséis vanos con luces de 22 a 29 m en tramo continuo, con planta en parte recta, en parte circular, con radio de 200 m y pendiente transversal del 6 % y enlace entre ambas mediante clotoide. Las condiciones de paso oblicuo en todas las vías cruzadas, han determinado la conveniencia de dividir longitudinalmente el puente en dos mitades completamente independientes, con ancho total de 20 m, repartidos en dos calzadas de 7,50 m flanqueadas por fajas de protección de 1,00 m y una separación entre bordes de tablero también de 1,00 m. Cada uno de los tableros va sustentado en una hilera de columnas de sección prácticamente rectangular de 110 cm de grueso y dimensión transversal variable de 2,60 a 3,30 en contorno trapecial.

El dintel es de sección cajón trapecial, volando a ambos lados el tablero para dar un ancho total de 9,50 m, con calzada útil en cada uno. La separación entre ambos es de 1,00 m. La altura se mantiene constante 1,54 m en toda su longitud, con anchura en la cara inferior de 3,60 m. Los espesores son variables, excepto en la losa del tablero. El pretensado longitudinal se hizo por el sistema Diwidag, llevando cada dintel 68 barras de 26 mm (25 t) pasando de la zona central en cara inferior a las superiores sobre apoyos. Dada la gran longitud de continuidad, el pretensado se hizo en dos tramos, más los quintos de la luz de los siguientes. Esto obligó a hormigonar del mismo modo, dejando juntas en las secciones indicadas y hormigonando las partes de los tramos intermedios con posterioridad. La sección transversal se hormigonó sin solución de continuidad para evitar efectos de temperatura y retracción por diferencia de edad entre losas superior e inferior, dejando juntas de trabajo cada 6 m. Las barras no tenían más de tres incurvaciones seguidas y, por consiguiente, una parte se anclaba en secciones intermedias y generalmente en cara superior. Se dispusieron algunas barras rectas en cara inferior en todos los tramos de empalme para asegurar la continuidad de éste a lo largo del vano y parte de los adyacentes. La longitud de algunas barras llegaba a 60 metros.

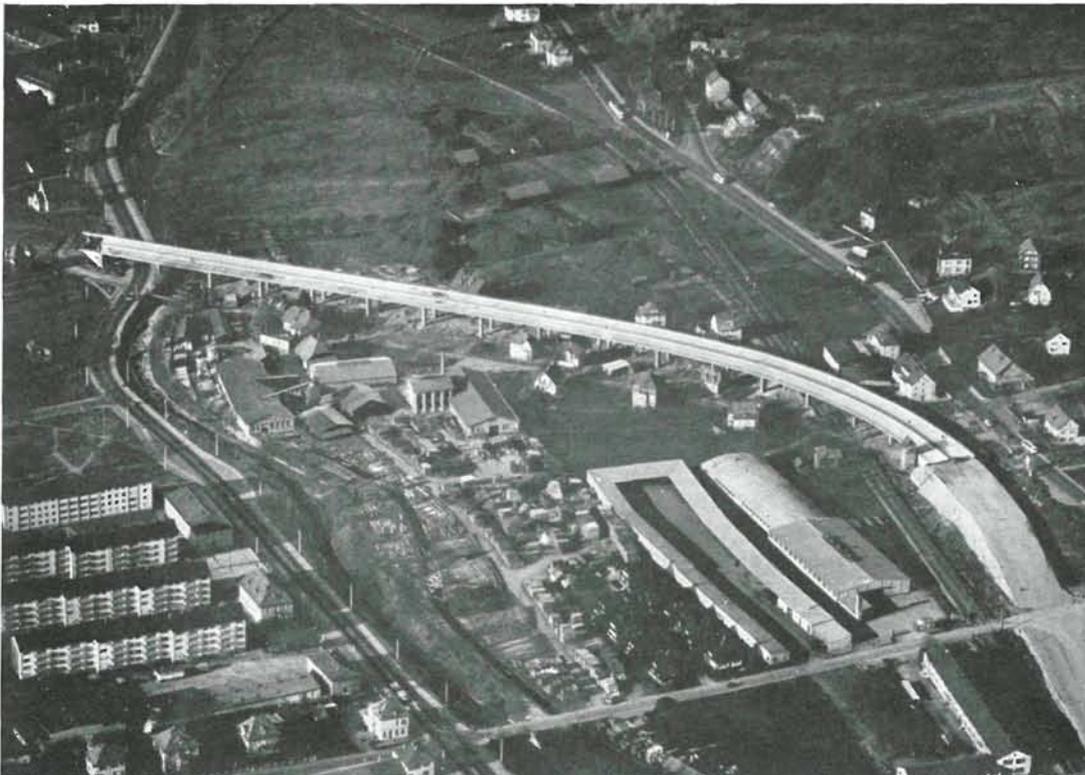
Se dispuso un tabique transversal sobre cada apoyo armado con armadura normal. Tampoco se pretensó transversalmente el tablero.

Los apoyos fijos se dispusieron en el centro, proveyéndose a todos los demás de articulaciones deslizantes de péndulos metálicos de 49 cm de altura, dispuestos en parejas para cada apoyo, y según la situación se colocaron dos articulaciones intermedias en cada una de las secciones que delimitaban los apoyos fijos, con cremalleras de engrase entre la biela y las placas de reparto.

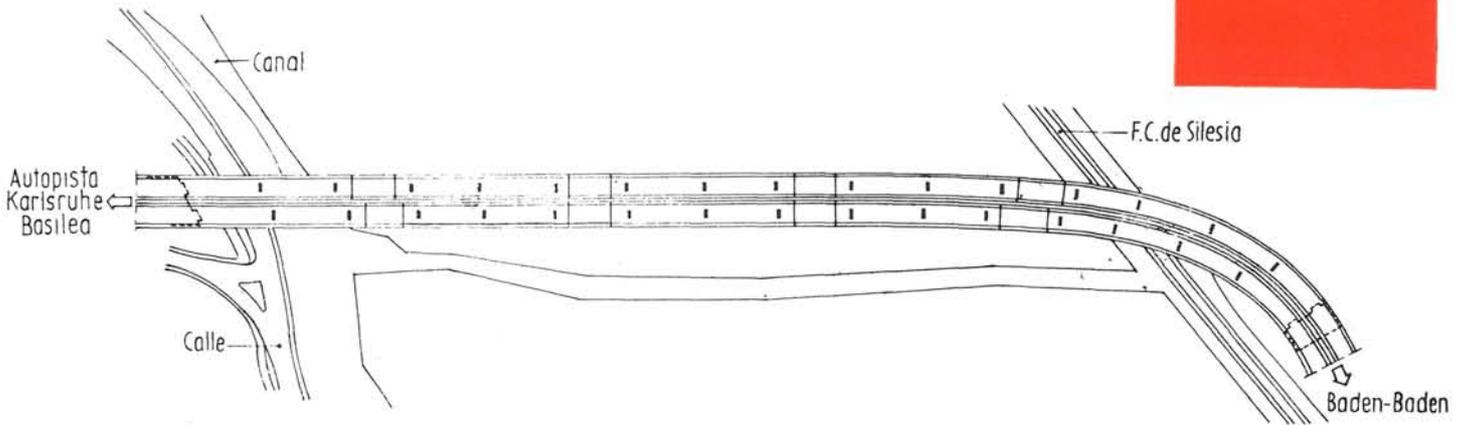
La dirección de los pilares en curva es perpendicular a la alineación de enlace, con el apoyo fijo correspondiente para que el giro de las articulaciones sea correcto. La curvatura en planta obligó a un peralte transversal del 2 al 6 %, que se reflejó en la sección transversal del dintel.

El hormigón era del tipo B450, con una resistencia cúbica de 500 kg/cm², requiriéndose unos 4.450 metros cúbicos en el dintel. El tonelaje de acero fue de 253 t de acero especial, llegándose a longitudes de barras de 104 metros.

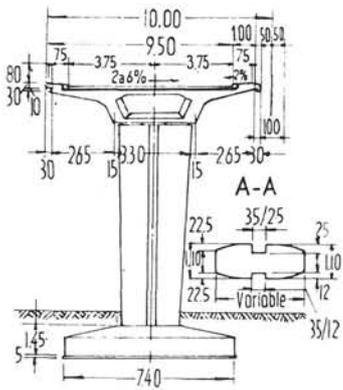
Se construyó por Wayss & Freytag, Dyckeroff & Widmann y E. Zubblin.



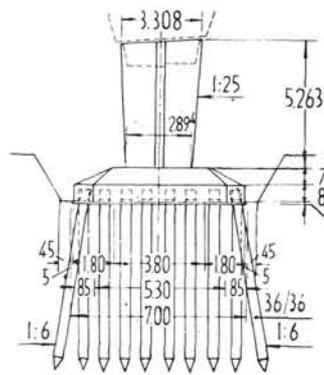
viaducto Oostal en Baden - Baden



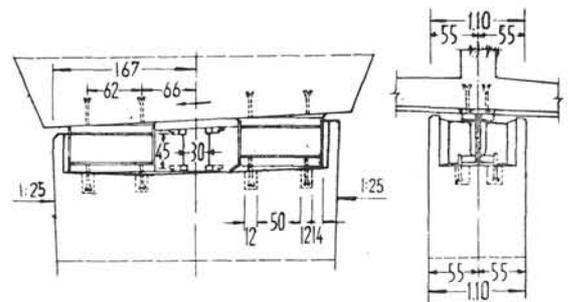
SECCION TRANSVERSAL



CIMENTACION DIENTES



CIMENTACION PILOTES



vista general

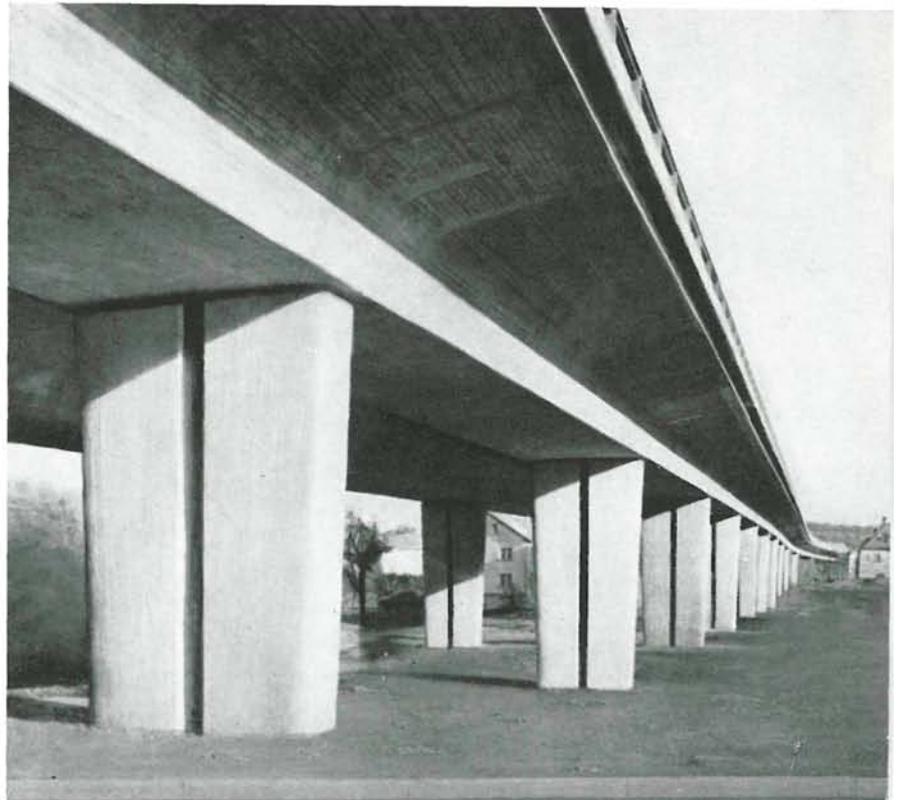
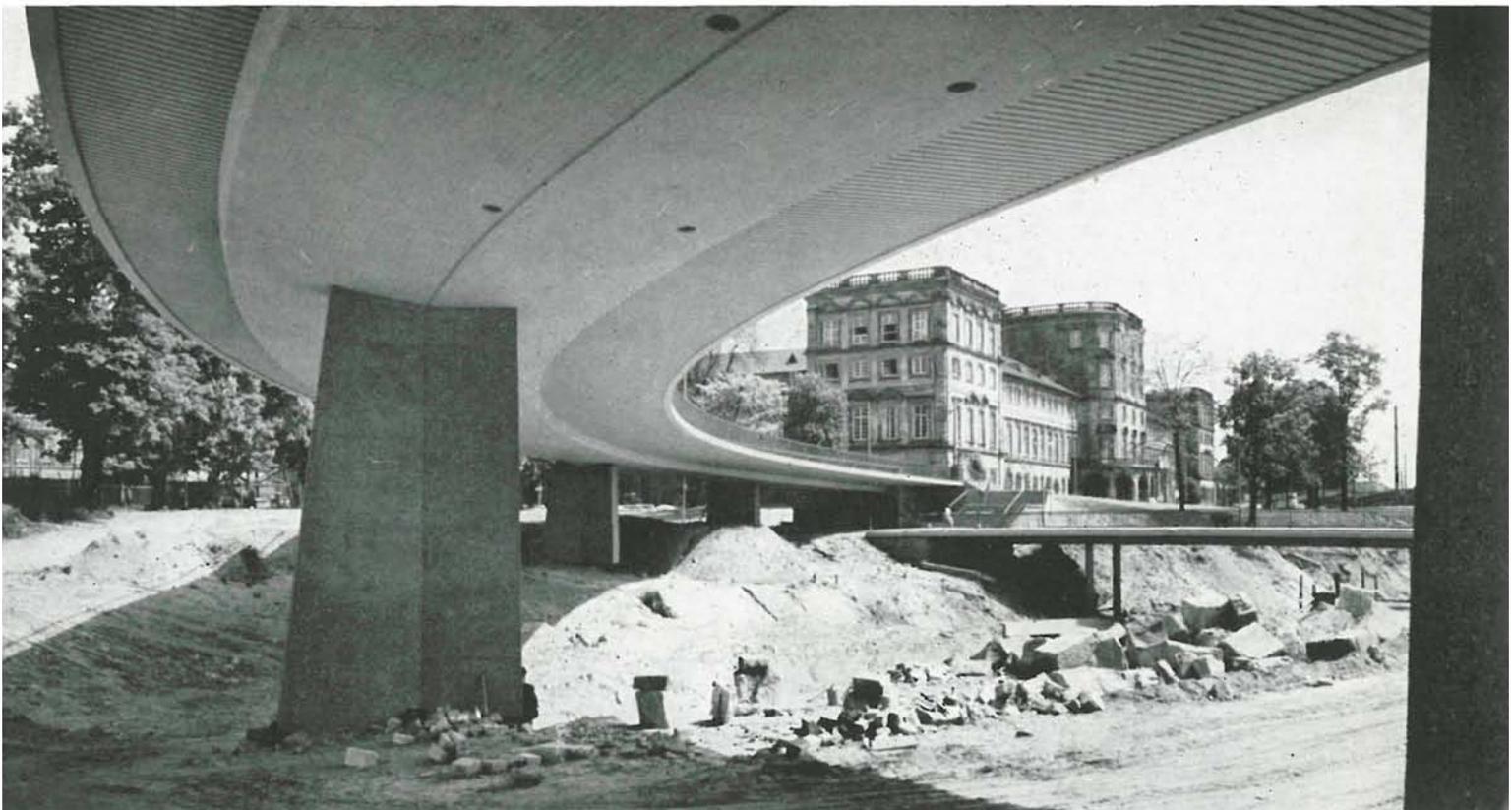
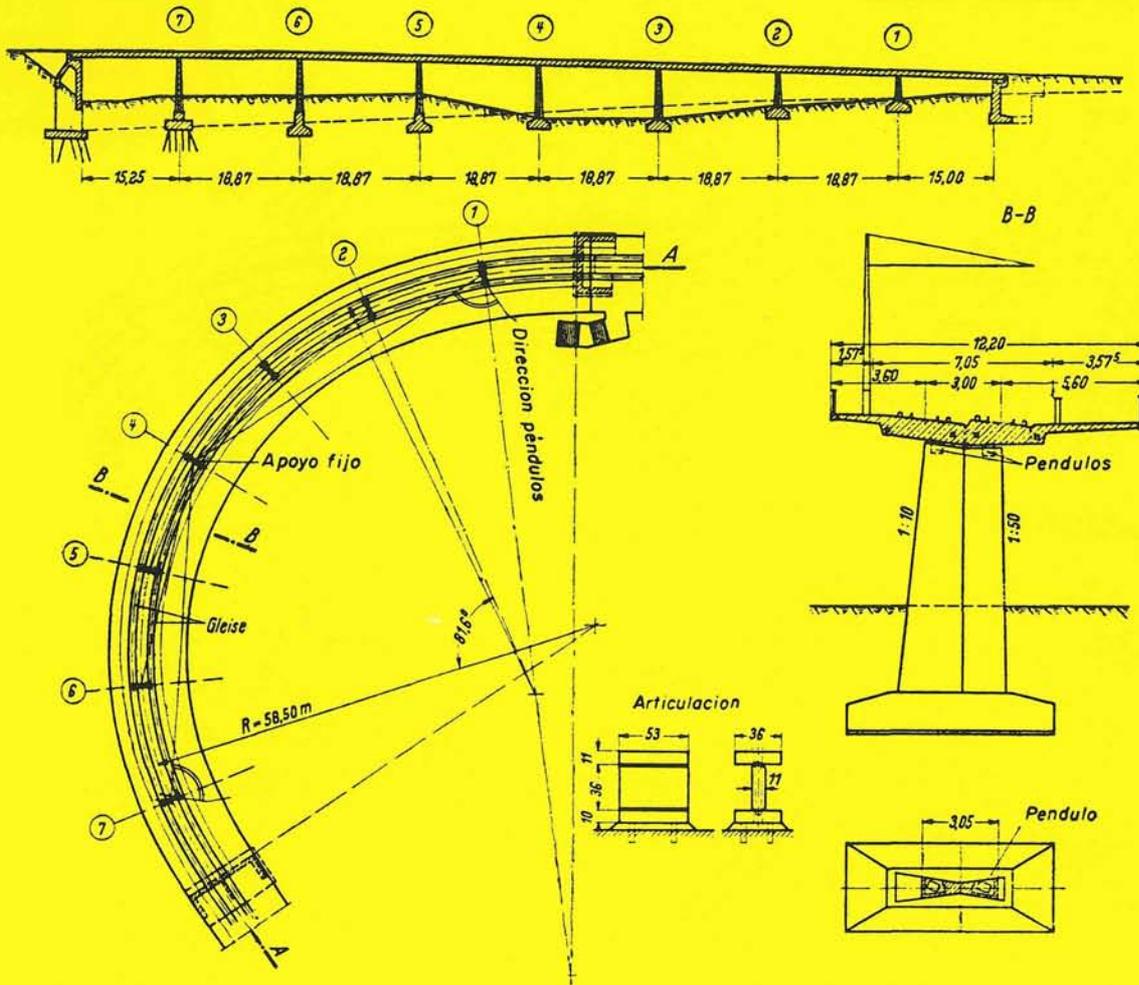


lámina IX

viaducto de Mannheim



El viaducto urbano de Brasilia en hormigón pretensado.—C. F. MACHADO. «Travaux», julio 1960, páginas 491-8, 19 figs.

Este viaducto, con una superficie de 27.300 m² y planta en forma de H, constituirá, con el palacio de l'Alvorada y el lago, el conjunto de monumentos característicos de Brasilia.

Se compone de dos alas, de 265,54 m de longitud y 45,54 de anchura, enlazadas por una transversal de 78,85 × 39,42. Establece un enlace a niveles separados de la circulación de autobuses de largo recorrido, con la de tráfico de la ciudad en dirección perpendicular y nivel superior. La estación de autobuses para otras ciudades se encuentra debajo de la plataforma. De uno a otro nivel, los peatones se trasladan por ascensores y escaleras giratorias. Un tercer nivel de tráfico se establecerá en túnel entre las dos alas, para facilitar el tráfico a gran distancia de dirección perpendicular a la normal.

Cada una de las plataformas se organiza en un dintel sobre filas transversales de tres apoyos cada una, a separaciones de 29,42 en alas longitudinales y de 12,77 m en la transversal. Entre los soportes, que son rectangulares y de 2 × 0,85 m², media una distancia de 17,77 m. Los dinteles son de tramos independientes y apoyan sobre vigas cabezal de gran sección en T invertida, que reúnen las cabezas de los pilares.

Los dinteles, por economía, y sobre todo, por rapidez de construcción, se han organizado en vigas pretensadas prefabricadas con sección doble T asimétrica, que se enlazan "in situ" mediante forjados superior e inferior, quedando el dintel constituido por un tablero alveolar, con nueve alvéolos el transversal y once los longitudinales. Las vigas tienen 2 m de altura, cabezas de 75 y 55 cm y alma de 18. Su separación entre ejes es de 4,11 m, rellenándose los espacios correspondientes a las cabezas inferiores mediante losas prefabricadas que se enlazan a las vigas mediante un pretensado transversal obtenido con cables Freyssinet de 12 alambres de 5 mm, a separaciones de 60 cm en losa superior y de 1,20 en inferior. El enlace de cabezas superiores se hormigonó en el sitio. Existen únicamente dos vigas transversales de 20 cm de espesor en extremidades de cada tramo.

Las articulaciones entre dinteles y pilares son de neopreno.

Para el cálculo de las estructuras se ha adoptado el tren de cargas oficial con camiones de 36 t y carga uniforme de 300 ó 500 kg/m², según los casos. Las tensiones de trabajo normal en el hormigón fueron de 115 kg/cm², sin tracciones en vacío y de 120 en carga más desfavorable, pudiendo llegarse a 150 kg/cm² en el instante de pretensar. La resistencia exigida al hormigón fue de 300 kilogramos por centímetro cuadrado a los 28 días, y al acero, un límite de rotura 140-160 kg/mm², y se tesaron a 105 kg/mm² para contar con 85 después de pérdidas.

Las vigas se prefabricaron en el suelo paralelamente y cerca de su posición definitiva, mecanizando todas las operaciones y reduciendo extraordinariamente la mano de obra. Los encofrados fueron de placas de "madeirit" (madera compensada), habiéndose utilizado 16 juegos de moldes laterales y 72 de fondos para la totalidad de las 256 vigas longitudinales. La central de hormigonado tenía capacidad para 30 m³/hora. La cimentación se realizó por pilotes huecos de 0,90 y 2 m de diámetro, con perforación previa mediante sonda capaz de llegar a 40 m. Las vigas se pretensaron parcialmente a los siete días de hormigonadas y se elevaron a su posición mediante dos grúas Bucirus. En la operación de transporte y elevación se llegó a tardar menos de una hora. El plazo de ejecución ha sido de doce meses.

Puente pretensado en rampa helicoidal del Monumento de la roca Tarpeya de Caracas.—JHOANSON. «Beton- und Stahlbetonbau», enero 1960, págs. 1-6, 12 figs.

Paso sobre la Avenida de las Fuerzas Armadas de la vía de acceso al monumento de la Roca Tarpeya, desarrollado en curva y pendiente con una luz recta en el eje de la vía de 53,72 m, que supone una luz desarrollada de 55,24 m. El ancho total del tablero es de 760 m. El tipo de estructura es un pórtico con pilares en célula triangular.

El dintel se organiza en sección cajón con altura variable según ley parabólica desde 1,06 m en centro (1/50 L) hasta 2,70 m en arranques. La losa superior del tablero tiene un espesor constante de 20 cm; la inferior varía desde 15 a 40 m de centro a extremos y también varían los tabiques desde 50 a 75 cm. Existen nueve diafragmas transversales a separación de 6 m en el eje, de 20 cm de espesor. Los pilares forman la célula triangular con dos tabiques de 50 cm, el de tracción inclinado, macizándose la zona del codo que prolonga el dintel 2,50 m por cada lado.

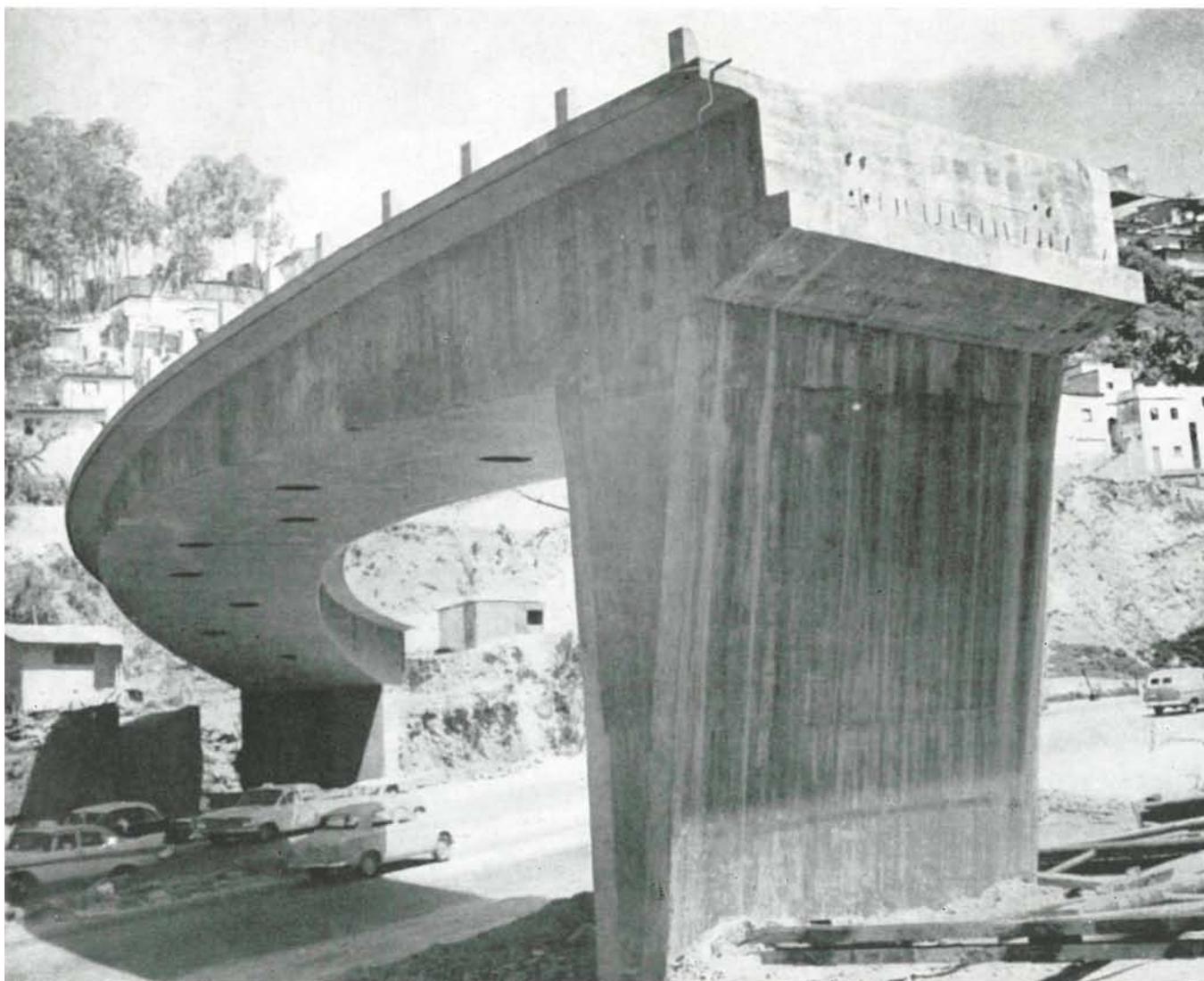
El pretensado se llevó a cabo con cables de 80 toneladas del sistema BBRV, alojándose los longitudinales del dintel en los dos tabiques de la sección y los transversales en las losas superior e inferior como se indica en los dibujos. También se pretensaron transversalmente los diafragmas. Existen 30 cables en zona extrema, de los cuales 16 se van anclando en cara inferior, siendo continuos de lado a lado los 14 restantes.

En los pilares los cables que se anclan en cabeza superior, se terminan en su menor parte en la zona inferior de la cara interna del pilar, pasando la mayor parte al macizo de cimientos, formando bucle de empotramiento. El pretensado transversal es muy importante en las dos losas y en la zona macizada del codo.

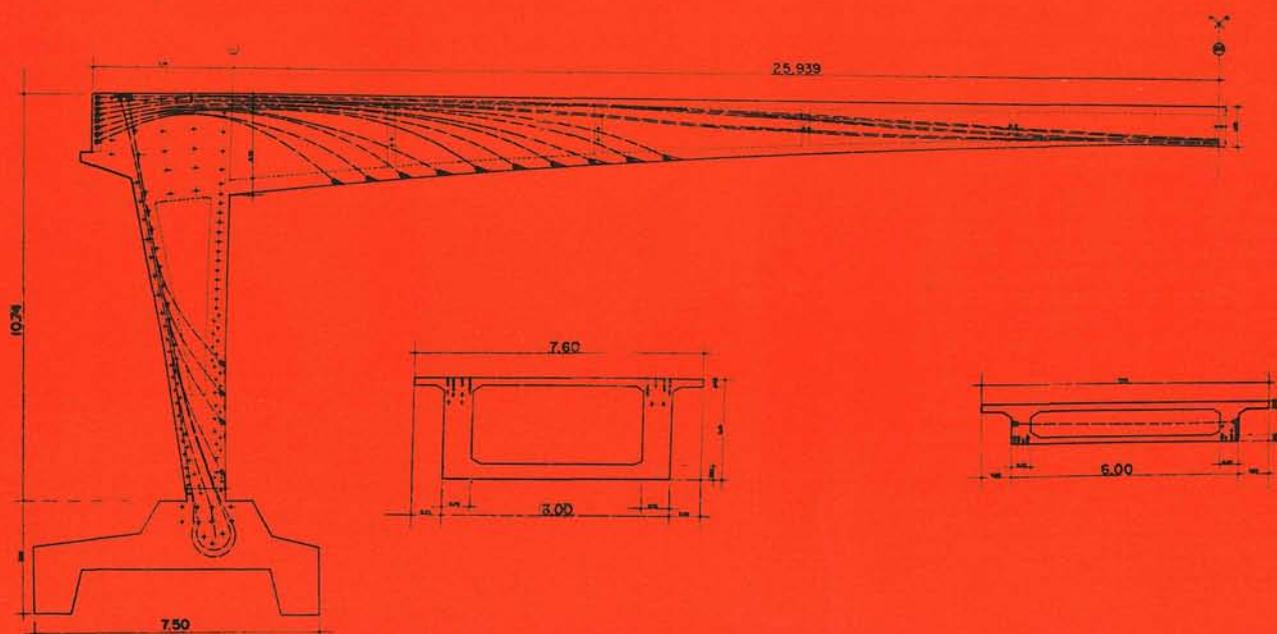
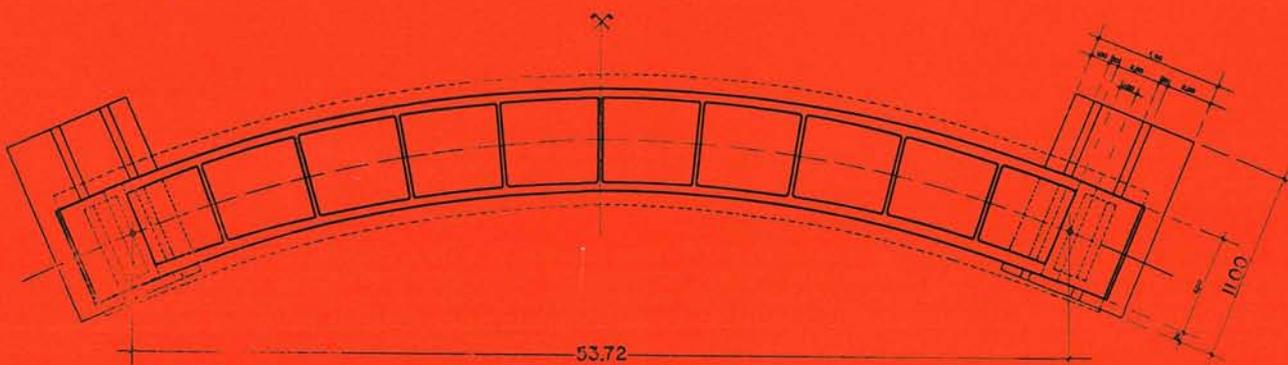
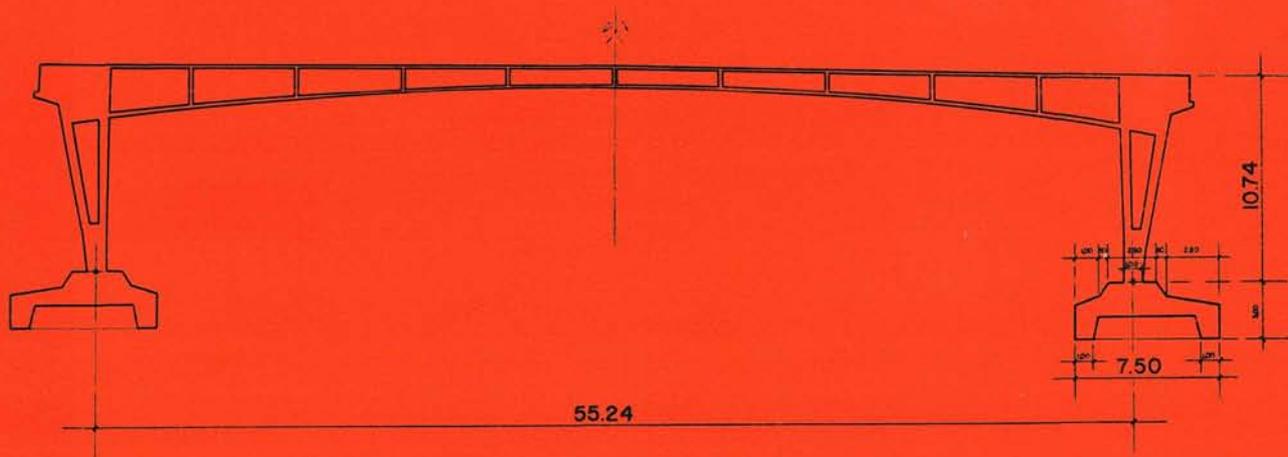
Se montó todo el conjunto de cables de los pilares antes de hormigonar los cimientos, sostenidos por el emparrillado de la armadura complementaria de acero dulce.

El pilar se hormigonó en tres secciones con juntas horizontales. El dintel se hormigonó en cinco secciones, que se combinaban simétricamente con juntas en los diafragmas transversales, dejando pasar ocho días de una a otra para reducir los efectos de retracción. Las vigas transversales se pretensaron a los ocho días de terminar el hormigonado del dintel. Durante el hormigonado se comprobó la estanqueidad de las entubaciones inyectando aire.

El puente daba, con pretensado y peso propio, una flecha de 1 cm, lo que no era suficiente para hacer un descimbrado automático. Para evitar que aparecieran tracciones de consideración al pretensar, se sometieron los cables a una tensión inicial del 80 % antes de descimbrar, con lo cual las tracciones en el hormigón no podían pasar de 22 kg/cm². En seguida se tesaron los cables rectos del pilar y, a continuación, los demás, procediendo simétricamente y por zonas para que el reparto fuera uniforme. El proyecto de la estructura es de los ingenieros Johansen y Richter, y la construcción, del Consorcio ACTESA-INACA-QUIVENSÁ.



puente del monumento de la roca Tarpeya en Caracas





20

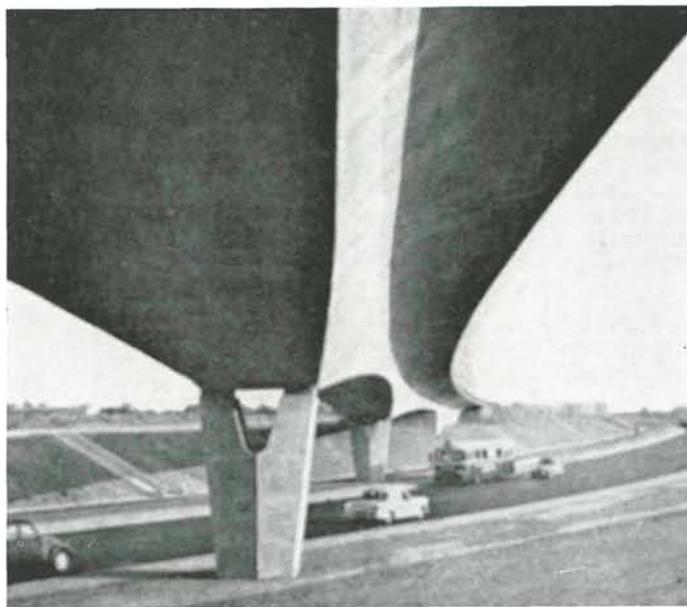
El puente número 10 en el sistema viario de acceso al aeropuerto de Orly.—«Travaux», febrero 1960, páginas 68-9. 2 figs.—E. BECKER. «La Route», julio 1960, págs. 70-3. 8 figs. — «Annales de l'Institut ITBTP», enero 1960.

Se trata del paso de la carretera nacional número 7 sobre la autopista de acceso al aeropuerto, con una gran oblicuidad (26°), que se ha salvado con puente ligeramente curvo, pero con apoyos radiales. Ha sustituido a una solución de tablero en paralelogramo sobre estribos oblicuos de gran longitud, intercalando dos apoyos intermedios muy estrechos y llevando los estribos a la parte superior del talud de la autopista, donde pueden disponerse en dirección perpendicular al eje longitudinal del puente.

El dintel con 11,50 m de ancho es de tres vanos continuos con luces de $38,50 + 53,40 + 38,50$, es decir, con longitud total de 130,40. El dintel tiene sección en cajón trapecial, del que vuela por ambos lados el tablero, enlazándose a él mediante acuerdo en superficie curva. Su altura es variable, con intradós también curvo, lo que, unido a la curvatura en planta, da una perfecta armonía a la obra.

Los apoyos situados en los paseos de la autopista se han estudiado para causar el mínimo de perturbación, tanto en lo que se refiere a obstáculo para la circulación de peatones, como a la visibilidad en el tráfico de la carretera. Arrancan con una sección hexagonal para bifurcarse en dos ramas formando V, dando dos apoyos en el ancho del cajón correspondiente al dintel (2,80 m).

Las articulaciones son de un tipo original con elemento lenticular de hormigón armado recubierto de neopreno.





21

El viaducto urbano de la «Petite Ceinture» en Bruselas.—L. DOBOURG. «La Technique des Travaux», enero-febrero 1958, págs. 39-54, lámina XI.

La necesidad de mejorar las comunicaciones internas, especialmente en las arterias de penetración, era fundamental después de la guerra mundial; pero la perspectiva inmediata del aumento de tráfico que iba a suscitar la Exposición Internacional de 1958, actuó de agente catalizador y dio lugar a la creación del boulevard denominado de la Petite Ceinture, con viaductos y pasos inferiores según los tramos.

La obra más importante es el viaducto entre la plaza del Yser y la Saintelete, donde ya había en 1955 un tráfico de 40.000 vehículos diarios. Tiene una longitud de 725 m, sin contar las rampas de acceso, y un ancho total de 11,80 m. Se organiza en 29 vanos de 24,14 a 25,72 m de luz, con tramos independientes simplemente apoyados sobre hilera única de pilares.

Los pilares son rectangulares, cimentados sobre zapatas rectangulares que reparten la carga sobre ocho pilotes Franki, de una carga útil de 100 t, hincados a profundidades de 10 a 14 m. La sección de los pilares es rectangular de 240×110 , con chafanes curvos en los frentes, y tienen que resistir una carga media de 500 toneladas.

El dintel está constituido por una viga cajón, de sección trapezoidal, con paramentos curvos y un ancho inferior de 2,40 igual al del pilar. De este cajón, que es de hormigón pretensado, vuela el tablero en hormigón armado normal, verificándose la transición por una curva muy acertada, que hace muy airoso el dintel.

El pretensado se obtuvo mediante 13 km de alambre de 7 mm, trabajando a carga útil de 110 kilogramos/milímetro cuadrado. La tensión admitida en el hormigón fue de 100 kg/cm^2 .

La obra se realizó por dos empresas constructoras, que organizaron los trabajos de modo muy distinto; unos trabajaron por vigas alternas construyendo las del segundo turno en nivel más elevado para hacerles bajar posteriormente; los otros partieron desde el centro y fueron en vanos sucesivos por los dos lados. Los estudios iniciales se realizaron por la Jefatura de Puentes de la Administración de Ponts et Chaussées y por la Oficina Técnica de A. Bagon, siendo construido por: L. De Waele y Ed. François et Fils.

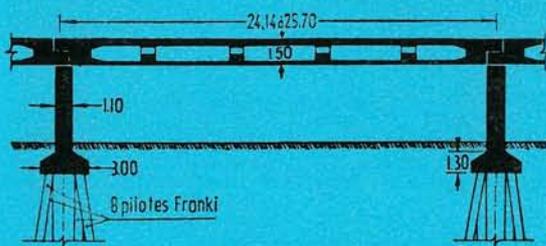
Lámina XI

VIADUCTO DE LA PETITE CEINTURE BRUSELAS

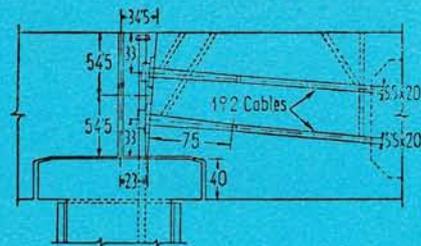
ALZADO



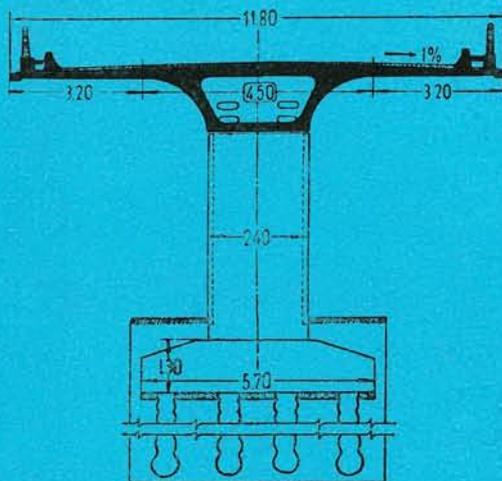
SECCIÓN LONGITUDINAL



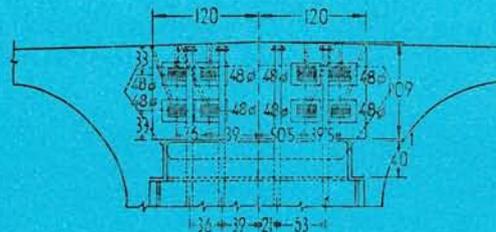
DETALLE EXTREMOS



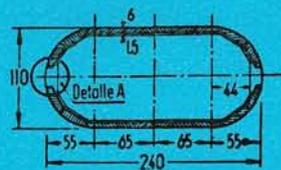
SECCIÓN TRANSVERSAL



DETALLE PLACA DE ANCLAJE



SECCIÓN HORIZONTAL



DETALLE A

