

EL PASO ELEVADO DE CUATRO CAMINOS EN MADRID

TEORIA DEL PUENTE URBANO

El puente urbano es el último tipo que ha aparecido en la evolución de los puentes. Se ha conformado a unas exigencias específicas que han sido resueltas gracias a las posibilidades aportadas por el hormigón pretensado, pues aunque no es este material el único que puede servir al caso, ha impuesto su morfología a las realizaciones de los puentes de estructura mixta.

Claro está que no son los actuales, los que han iniciado la serie de puentes en ciudad, pues no hay más que recordar que algunos de ellos han sido determinantes para el nacimiento de poblados al borde de un río y que muchas ciudades han superado mediante viaductos las dificultades

Autores del artículo: Carlos Fernández Casado, Javier Manterola Armisén y Leonardo Fernández Troyano.

topográficas que se oponían a su expansión. Pero estos puentes no pueden denominarse propiamente urbanos, pues el hecho de estar en la ciudad no los caracteriza esencialmente.

La primera oportunidad que tuvo este nuevo tipo de puente, se presentó al organizarse el sistema complementario de tráfico que plantearon los ferrocarriles metropolitanos. La solución adoptada fue la de superposición de plataformas, con independencia total, en los itinerarios que resolvían los problemas de tráfico planteados. De un modo casi definitivo se dejó el nivel inferior al nuevo tráfico enterrándole en túnel, lo cual fue lo más acertado como se ha comprobado en la evolución de todos los "Metros" construidos, siempre con vitalidad para crecer en redes más extensas y más apretadas. Pero en algunos casos



debido a las condiciones topográficas de la ciudad la vía inferior sale a la superficie y llega a tomar el nivel superior en viaducto de cierta longitud. También la llegada de los ferrocarriles a las estaciones terminales dentro de la ciudad impusieron viaductos de este mismo tipo o pasos más cortos para cruce de las calles importantes. Pero estos viaductos no deben llamarse urbanos sino inurbanos, en caso de que, de alguna manera, queramos relacionarlos con la ciudad. Correspondían a este grupo los horribles "elevated" del centro de Chicago y el de la tercera avenida de Nueva York, ya desaparecidos pero que nosotros hemos alcanzado a ver, oír y sufrir; experiencia muy valiosa, al reavivarla cuando hemos tomado cartas en el asunto.

Pueden entrar en este mismo grupo los viaductos de las asomadas del metro de París que también hemos vivido en nuestros lejanos tiempos de estudiante. En éstos la alteración propia se complica con las bocas de salida y los triángulos de despegue e incluso con zonas a nivel cerradas por verjas, atropellos urbanos que parecen estar conscientes como tales en la obra, que se disculpa ofreciendo al espectador todo un repertorio de arabescos y follajes y hasta columnas clásicas en aditamentos de fundición y hierro forjado.

En todos los casos enumerados se trata de un tráfico ferroviario sobre estructura metálica, obligada en aquella época, asociación que se traduce en las cualidades más inapropiadas e intemperantes para su ajuste a las condiciones urbanas.

A esta primera etapa, donde como acabamos de ver, las características de tráfico y estructura condujeron a soluciones verdaderamente antiurbanas, ha sucedido la actual donde por lo pronto el tráfico suavizó su aspereza, ya que se trata de circulación automóvil que, aunque no ha sido de siempre, estamos acostumbrados a ella desde nuestra infancia. Por el lado de las estructuras, las metálicas han mejorado mucho en su tratamiento desde aquellos años y además contamos con el hormigón pretensado.

El nuevo problema que los ha traído a la luz, es la dificultad circulatoria dentro de la ciudad, por el aumento del número de vehículos en circulación. Llega un momento en que las arterias principales no tienen capacidad para llevar el tráfico que se concentra en las "horas punta" correspondiente al sístole y diástole del trabajo ciudadano de cada día o, a la congestión más acusada por el abandono y retorno a la ciudad en los fines de semana.

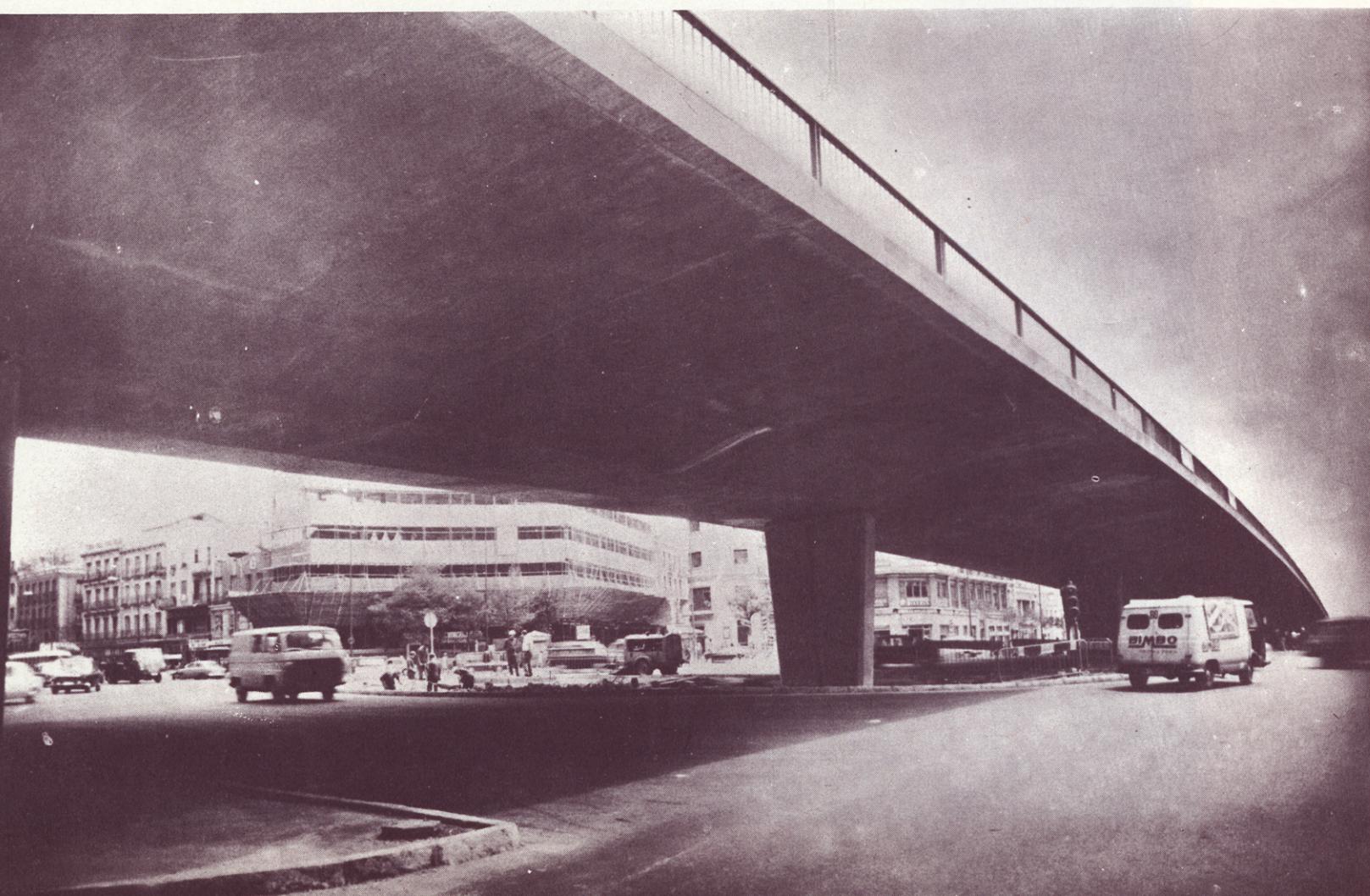
La primera ciudad que toma medidas para remediar este fenómeno de mal funcionamiento fue Nueva York y precisamente para la modalidad más acuciante de resolver el problema del abandono en masa de la ciudad. Cuando bastantes años más tarde París se moviliza en la misma empresa, la vía arterial que inicia el sistema se denomina *route de desserte*. Se tiene más en el ánimo la dispersión que la concentración, como respondiendo al pánico ante algún acontecimiento bélico.

En Nueva York fue la Park Authority la que dio la alarma y planteó con bastante amplitud el problema, poniendo manos a la obra inmediatamente y con gran eficacia, puesto que el plan consistía en crear una serie de vías de escape del centro de Manhattan hacia el Oeste, desembocando en una vía periférica que diera salida por el Sur hacia Long Island. Esto fue posible utilizando las zonas despejadas de edificación que ofrecían los parques en el interior, los Westchester Country, Alley, Marine, etcétera y en la periferia los de Riverside Drive, Long Island, etcétera. Así con enlaces cortos entre ellos y circuitos sin pasos a nivel en todo el recorrido, se consiguió salir rápidamente de la zona congestionada de Manhattan hacia zonas de habitación más despejadas y además el disfrute de las playas y de los mismos parques por lo cual estos caminos se denominaron inicialmente *parkways* aunque en seguida fueron llamados *expresshighway*.

La extensión del programa, agotando las posibilidades de los parques, obligó a desarrollar las plataformas de tráfico casi exclusivamente en viaducto, como ocurrió en la vía Gowanus para salida hacia Long Island a través de Brooklyn que lo cruza mediante un viaducto de varios kilómetros.

Otro de los casos de viaducto urbano se da en las ciudades con ríos importantes, para el acceso a sus puentes con tableros elevados por necesidad de la navegación, en los cuales se concentra un tráfico muy importante, que hay que encauzar en viaductos radiales despegándose del terreno y en interconexión con las vías de tráfico a lo largo de las orillas. Caso típico es también New York tanto en los puentes del East River como en los del Hudson. También las ciudades alemanas a lo largo del Rhin: Colonia, Manheim, Düsseldorf, etcétera.

París con la navegación del Sena que no exige elevación de los puentes tuvo en cambio el problema de los cruces a nivel de las vías marginales con todas las de los puentes, lo que primero se resolvió en la orilla izquierda deprimiendo, de un modo sucesivo y parcial, la vía





longitudinal en cada paso y más recientemente, de un modo sistemático y total, en la orilla derecha. La gran reforma de París ha sido el boulevard periférico con distribuidores marcados ya de antemano por la irradiación de calles desde las antiguas puertas.

Análoga solución tiene Berlín con su Ringstrasse que es un verdadero cinturón de la periferia de su territorio. En cambio Londres con otra morfología urbana consecuencia en gran parte de la adaptación al tráfico, comenzó su vía de escape al aeropuerto y actualmente está terminando su primera vía arterial de la Western Ave cuyo desarrollo es, en una gran parte, elevado.

Otra de las ciudades de más previsión en este problema del tráfico ha sido Estocolmo. Ya antes de nuestra guerra civil había convocado un concurso internacional para la ordenación de tráfico con pasos a distinto nivel en una de sus plazas y en 1938 tenía un viaducto elevado atravesando el parque Kungsholm con factura muy actual; losa de hormigón armado sustentada sobre dos filas de columnas cilíndricas longitudinales. Las Autoridades del Puerto han tenido una actividad ininterrumpida en la construcción de puentes uniendo islotes y salvando canales que iban incorporando a la vida urbana nuevos núcleos de población. Después las autoridades terrestres están desarrollando programas de vías elevadas que han permitido la comunicación rápida entre las diferentes zonas y además la habilitación de otras para el disfrute exclusivo de peatones.

En la estructura de ciudades desarrolladas por crecimiento desde un centro en todas direcciones la reforma vial de que tratamos se esquematiza en la realización de una serie de vías anulares o cinturones, el primero de los cuales deberá servir para aislar el centro contra la circulación de vehículos y una serie de vías radiales o arteriales que las pongan en comunicación y encauzen los tráficos de salida. En general la ciudad ofrece, casi siempre, el cinturón de sus boulevares conseguido cuando el derribo de sus murallas y, en otros casos, los caminos de ronda que se habían ido preparando en las urbanizaciones desde los años veinte.

LA URBANIDAD EN LOS PASOS URBANOS

Los puentes que acabamos de enumerar en sus diversas modalidades ya pueden denominarse urbanos, pues han nacido por necesidades propias de la ciudad que ha determinado sus características funcionales y sus modalidades típicas. Las primeras son obligadas y se traducen en dimensiones geométricas, imposiciones en la repartición de varias dificultades de cimentación por interferencia con galerías subterráneas de servicio, etcétera. Pero las segundas son ya interpretación del problema urbano por el propio ingeniero que proyecta, el cual no ha de inventárselas por sí mismo pues al proyectar un nuevo paso existen ya otras obras construidas de cuya experiencia es preciso partir.

Nosotros creemos que la condición de *diafanidad* es la primera de las que deben imponerse, condición que es de importancia análoga en todo cruce de vías de comunicación, pero en nuestro caso el paso de peatones por debajo la acentúa al máximo. Esta diafanidad empieza por ser necesaria para saber en todo momento qué viene por los costados, tanto para peatones como para conductores de vehículos, con objeto de evitar las colisiones mutuas, pero además para producir a todos los que lo cruzan por debajo la menor impresión de obstáculo, tanto material como psicológico, pues el dintel aparece como una amenaza frontal y los pilares como elementos contra los cuales puede uno chocar más o menos violentamente. La imposición de tener que pasar por debajo, sumada a la pérdida de perspectivas urbanas que la masa del puente produce, predisponen al conductor o al peatón a ponerse en contra cuando se enfrente, más o menos cotidianamente, con esta obra incrustada en el paisaje urbano. Por este motivo, la masa de la obra debe ser mínima, lo cual produce la diafanidad máxima.

Los argumentos anteriores tomados al hilo natural del planteamiento del problema para el que está proyectando, demuestran la conciencia de urbanidad que el propio paso plantea al ingeniero que lo proyecta. Esta consideración del usuario era poco frecuente en obras de ingeniería, aunque naturalmente es siempre una satisfacción para el ingeniero el encontrarse realizando algo que va a proporcionar una utilidad importante a sus semejantes, incluyéndose él mismo. Esto que es algo mostrenco corresponde, en nuestro caso, al beneficio para los usuarios al mejorar sus desplazamientos habituales, pero en la relación que nosotros apuntamos las condiciones cambian, pues al referirnos a nuestros conciudadanos pensamos en algo de la obra que es defectuoso y nuestra aspiración consiste en mitigar esta contrariedad que la obra provoca. Además la relación es más humana y particular y la analizamos más

de cerca, debiendo poner de nuestra parte, los ingenieros que somos ásperos por naturaleza, un sentimiento de endopatía con el usuario. El hecho concreto es que al proyectar nos damos cuenta de que, el pasar por debajo del puente, formará parte de su vida en la cual vamos a tener, por tanto, cierta intervención. Esta parte de su vida es mínima y verdaderamente fugaz y esta intervención nuestra muy pobre y reducida, pero ambas dan lugar a una convivencia de problemas que resulta interesante resaltar y ante todo en su aspecto más externo de *cortesía* por parte del ingeniero.

Continuando la enumeración de condiciones que imponemos a la obra de paso, encabezada por la diafanidad, creemos debe seguirle la de *evitar el alarde* que es un refuerzo en la obligación de cortesía. El alarde, dadas las posibilidades estructurales de los materiales y sistemas constructivos actuales, es un truco demasiado fácil; las esbelteces longitudinales de los dinteles y las verticales de los pilares, han pasado a duplicar, en hormigón pretensado, las correspondientes a hormigón armado normal y en las esbelteces verticales todavía estamos bajo la impresión de las rotundas pilas de los antiguos puentes de arcos de sillería. Si algo expresa el puente, es equilibrio y producir en el ánimo del usuario la sensación de inestabilidad es una petulancia inadecuada.

Siguiendo por este camino encontrariamos enseguida la *sobriedad* en líneas, superficies y volúmenes que, sin establecer confusión entre las distintas partes de la obra reduzcan el número de formas diferentes y ni qué decir tiene, suprimiendo todo lo superfluo. El mínimo de aristas, el mínimo de planos o superficies definitorias, el mínimo de puntos de convergencia y la conservación de invariantes a lo largo de la obra.

Por último en la construcción la *máxima perfección posible*, a lo cual ya han preparado el terreno las condiciones anteriores para su factibilidad. El hormigón visto ejecutado con encofrado de madera, con las tablas orientadas en las direcciones más sencillas en cada superficie, con la menor cantidad de coqueras y sin marcas irregulares de juntas de construcción, que se dispondrán inteligentemente para conseguir este efecto. Construir bien es algo más caro que construir mal, aunque el pasar de uno a otro modo, más que del gasto, depende del afán inteligente que pongan los que construyen. Desde luego lo más barato es no construir y, por lo menos en un paso urbano, lo que no se puede hacer es construir incorrectamente.

POSIBILIDAD ESTÉTICA DE LOS PASOS

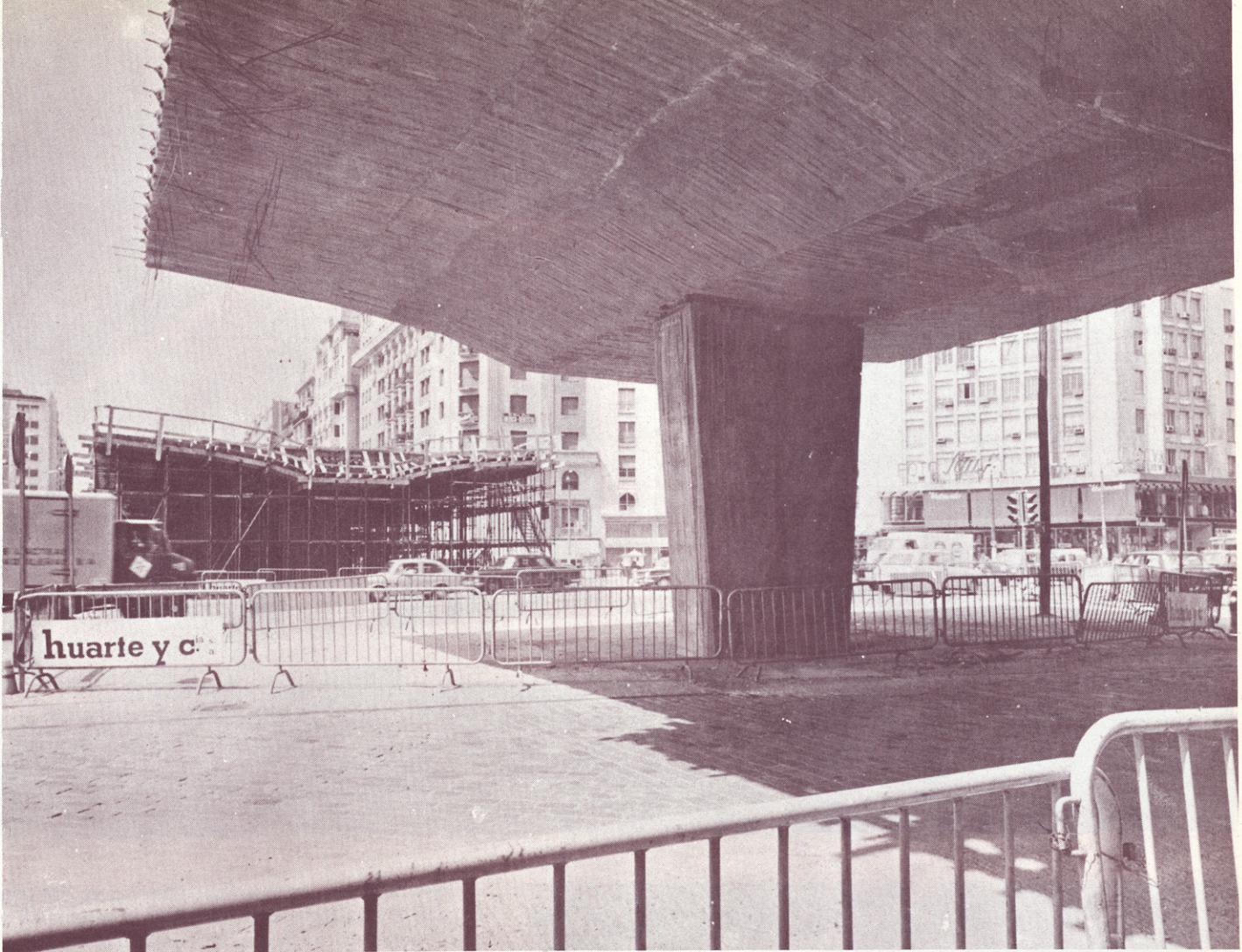
Esta relación humana entre ingeniero y usuario abre un ámbito posible al juego de creación-recreación de la obra, donde puede darse lo estético.

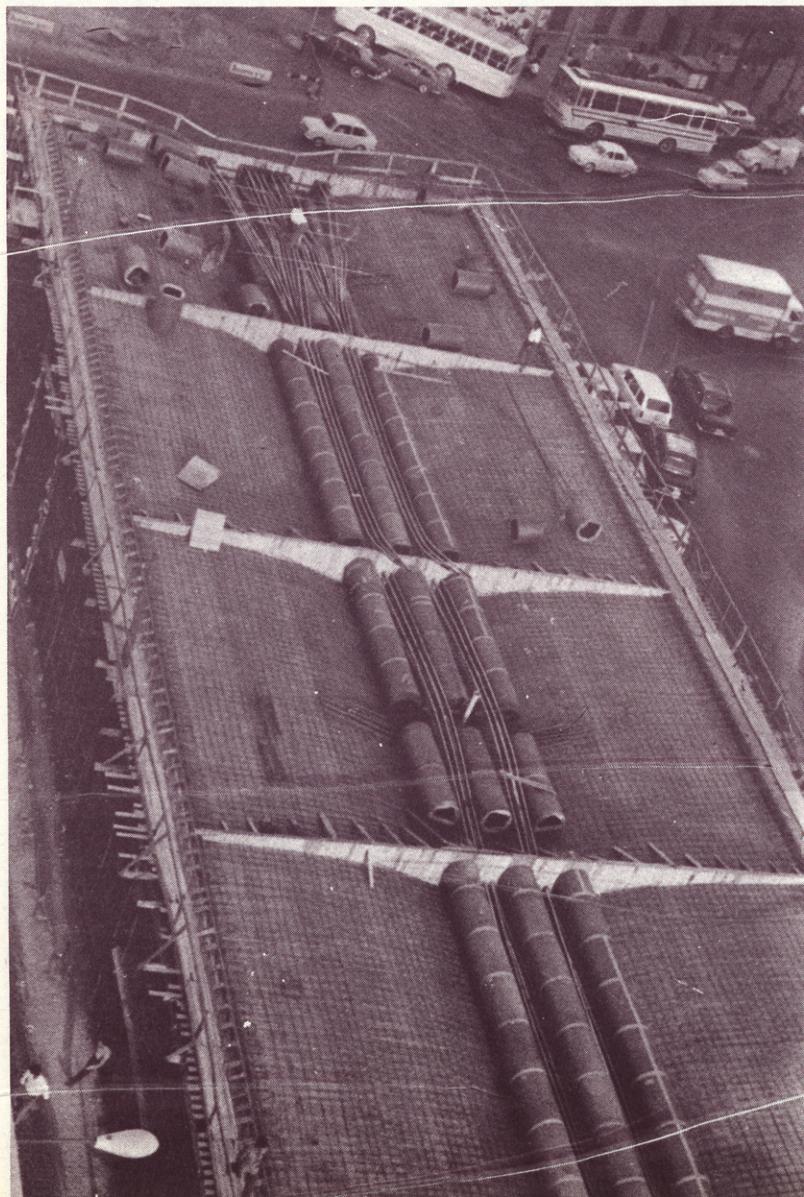
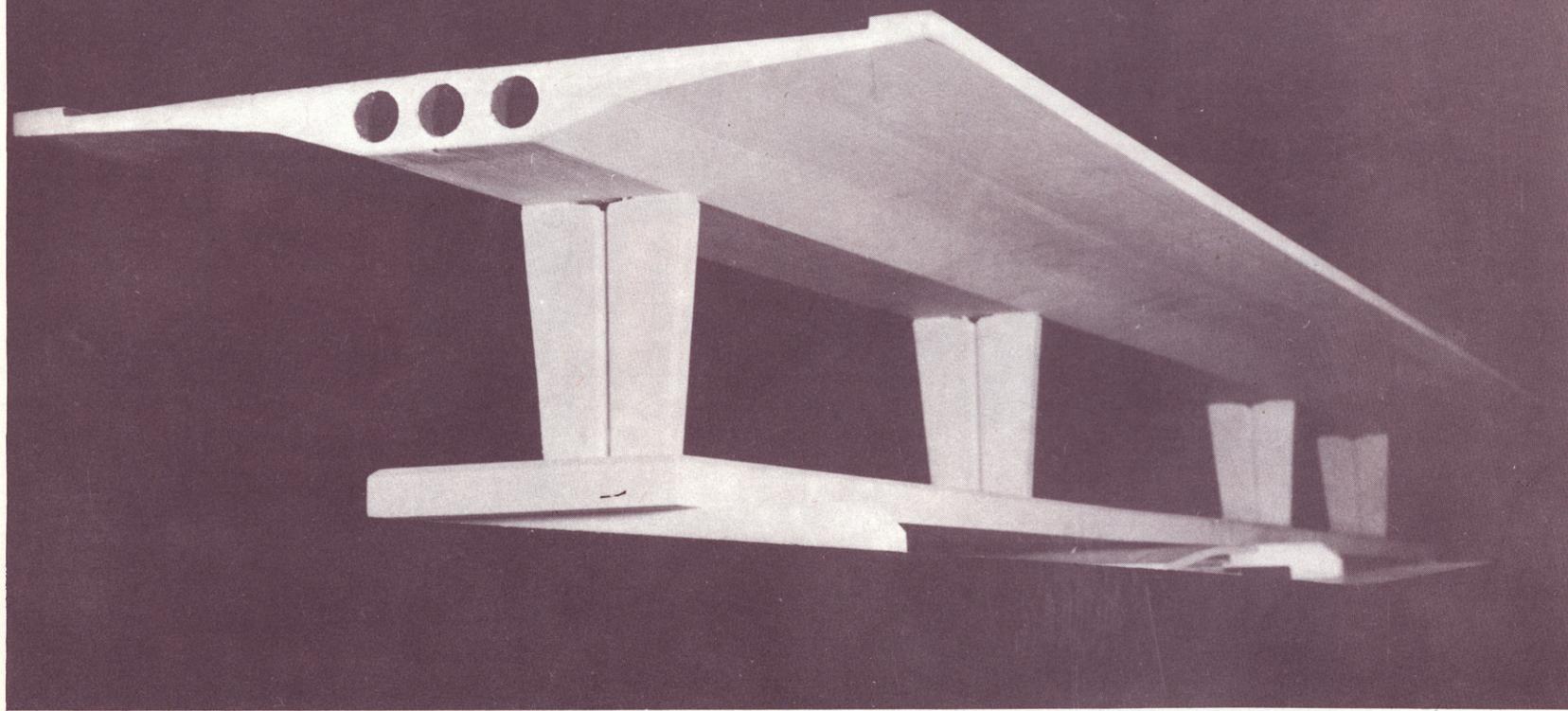
Por parte de la creación, mejor *cuasi-creación*, en término *zubiriano*, el ingeniero al proyectar pone todos sus sentidos, sus facultades y recursos profesionales para conseguir el logro más perfecto. Buscará comparación con todo lo construido hasta el presente, estudiará las formales, diseñará en sus proporciones todos los elementos reduciendo al mínimo el número de los que son diferentes, retocando lo poco que puede retocarse en frentes y perfiles, incluso materializándolos en maqueta; es decir, llenará el *sentido de la vista* con todas las perspectivas que puede presentar la obra en el ambiente que le ha correspondido. Pero no es este el único sentido que trabaja al límite, tenemos tan inmediato a él que, en ocasiones lo suplanta, el del *tacto*, sentido muy unido a la imaginación y siempre presente al tener formas y volúmenes en expresión directa, es decir donde la materia juega, no por su apariencia como en pintura o escultura, sino por su rotunda realidad física. Interviene en el retocar de los detalles, impidiendo, con su metafórica resonancia intelectual, no llegar a lo resobado en el peligro del pasarse. A lo largo del proyecto nuestras manos están recorriendo aristas, repasando la sencillez de las superficies, manteniendo elementos invariantes de un lado a otro de la obra y saboreando su despiezo elemental subrayado por las líneas de tablas del futuro encofrado.

No es preciso llamar la atención sobre la importancia que en la labor del ingeniero tiene el *sentido del equilibrio* pues la estructura, en definitiva, ha de consistir en eso, en ser equilibrio material y además con un sentido totalmente positivo, ya que no es un equilibrio huero, sino un equilibrio esforzado a la máxima tensión, poniendo a prueba los materiales.

También el *sentido kinestésico* tiene su papel pues, desde el principio, se trata de resolver las deficiencias de un complejo dinámico, de aliviar algo que funciona mal con una clara resonancia en la arterosclerosis de nuestra circulación sanguínea. Al aspirar a conseguir una fluencia bien regulada del tráfico, se pone en activo nuestra *ceñestesia*.

Aquietar en la obra la tensión de nuestro ánimo, es la ocasión profesional de llegar al contacto efectivo con las cosas. Pero esta tensión





de que hablamos es más honda de lo que, a primera vista parece, pues no es sólo la que surge al imponernos la resolución del proyecto. Viene de más hondo, es la tensión del hombre actual (de cada época) con todo lo que le rodea, con su circunstancia que diría Ortega. Y en esto sí que nos encontramos en comunidad con nuestros conciudadanos y podemos llegar a relacionarnos con ellos de un modo directo. Todo lo que dejamos en la obra que haya servido para serenarnos puede producir el mismo efecto en el que la viva de alguna manera, por muy fugaz y superficial que sea su contacto con ella.

Efectivamente, nuestra aportación entrará por los sentidos del que la use, ya que la intensificación de los nuestros, al poner en ello, como se decía anteriormente los cinco sentidos, es la posibilidad más directa de agradablemente los de aquél y pasar de sufrirla a disfrutarla. Pues si hemos logrado nuestros propósitos la obra mostrará, a la vista de los que la miran, la máxima sencillez, sobriedad y diafanidad en líneas, superficies y volúmenes, al tacto de los que casi tienen que rozarse con ella, aristas vivas, planos bien determinados y perfección constructiva. Su sentido del equilibrio se sentirá en alza y a los que van afanados por el tráfico de la vida, la sensación de algo que fluye adecuadamente, y la satisfacción interna de un organismo que funciona bien.

DESCRIPCION DE LA OBRA

El puente de Cuatro Caminos pertenece al Segundo Cinturón metropolitano en el cruce de las calles Raimundo Fernández Villaverde-Reina Victoria sobre Bravo Murillo.

El paso que nos ha correspondido proyectar y construir corresponde al 2.º cinturón de Madrid definido, casi en su totalidad, por las Rondas: avenida Reina Victoria-Raimundo Fernández Villaverde, Joaquín Costa, Doctor Esquerdo, hasta desembocar, por un lado, en Méndez Alvaro y por el otro, en la Ciudad Universitaria, aunque en sus extremos quedan difusos para distribuirse en otras varias vías o dirigirse, con poco recorrido, al Tercer Cinturón que ya es del Ministerio de Obras Públicas, el cual está completamente proyectado y en ejecución algunos trozos correspondientes a la avenida de Abroñigal.



Está formado por un dintel continuo de 16 m. de ancho y luces de $16 + 22 + 22 + 32 + 22 + 22 + 16$ al que se accede desde la calle de Raimundo Fernández Villaverde por un estribo de 127 m. de longitud y por el de Reina Victoria por otro de 105,6 m.

El sentido de este paso está en su correlación con todos los de la serie correspondiente a su cinturón de los cuales está además en servicio el de María de Molina y en construcción el del paso de La Castellana, habiéndose proyectado, para su inmediata ejecución, otros cinco, el último de los cuales, que también nos ha correspondido, es el de desembocadura en Méndez Alvaro, pasando sobre la avenida de la Ciudad de Barcelona y sobre la playa de vías de la Renfe en Pacífico.

A primera vista parece que este paso debiera haber sido inferior ya que la glorieta de Cuatro Caminos supone una zona alta en el circuito de esta ronda, pero, el nivel inferior estaba ya ocupado por la primera estación del Metro madrileño. No se ha podido rebajar el nivel de la plaza ni diez cm. contra la idea primitiva de rebanarla todo lo más posible, pues una arqueta de teléfonos de las primeras en la instalación de automáticos se encuentra a ras de tierra. Además existen tuberías de presión, cables eléctricos de alta tensión, galería del metro a cocheras, etcétera, servicios unidos previstos de antemano y otros surgidos sobre la marcha de la construcción.

La circulación superior está formada por dos carriles en cada dirección

de 3,25 m. separados entre sí por una mediana de 1,00 m. de ancho y bordeado por dos aceras de 1,00 m.

TABLERO

El tablero tiene sección trapezoidal con 16 m. de ancho en la cara superior y 3,00 m. en la inferior. El canto del dintel se mantiene constante en dirección longitudinal y variable en dirección transversal de 0,2 m. en el borde a 1,2 m. en el centro. Se aligera interiormente con 3 tubos de cartón de 80 cm. de diámetro que se interrumpen en la zona de pilotes.

El tablero se pretensa en dirección longitudinal con unidades formadas por 12 cables de 0,5" y transversalmente por un cable de 0,7" a separación de 1 m. El número de unidades de pretensado longitudinal varía a lo largo del puente. La armadura complementaria es de acero de 46 kg./mm.² de límite elástico y situadas formando emparrillados en dirección longitudinal y transversal.

PILAS

Las seis pilas del puente tienen forma trapezoidal con base inferior de 2,4 m. y superior de 3 m. El ancho de pilas es de 0,9 m. y su altura varía de 5 m. a 4 m.

Las pilas se arman con redondos de 25 mm. de diámetro vertical de acero de 46 kg./mm.² de límite elástico.

Entre las pilas y el dintel se interponen dos apoyos deslizantes formados por neopreno y téflón. Los apoyos son de 950 Tn. en las pilas centrales, 750 Tn. en el resto de las pilas y de 350 Tn. sobre el estribo de Raimundo Fernández Villaverde. En el estribo Reina Victoria se encuentra la articulación fija.

ESTRIBOS

Los accesos al puente están formados por dos muros de acompañamiento y el estribo propiamente dicho. Los estribos de forma de "morro" tienen trazado en planta trapecial de 3 m. en el lado del dintel y 14 m. en el de los muros de acompañamiento. El estribo Reina Victoria salva una luz de 21 m. para no apoyarse en el túnel del Metro en su ramal a las cocheras. Para ello se ha pretensado con unidades de 150 Tn.

CIMENTOS

La cimentación del puente se hace con pilotes de sección rectangular de 1,8 X 0,65 m. y 32 m. de longitud. Se ha llegado a esta profundidad para escapar de los tres niveles ocupados por el Metro actual, la conducción del canal de Isabel II y el Metro futuro.

Los encepados de cimientos del estribo Reina Victoria y el de una de las pilas centrales están pretensados con unidades de 150 Tn. pues son vigas con los vanos necesarios para salvar los ramales del Metro que hemos citado.

CONSTRUCCION

La construcción del puente se llevó a cabo en las siguientes etapas:

- 1.º) Construcción de los muros de acceso y pilotaje de cimientos.
- 2.º) Pilas.

- 3.º) Construcción de 66 m. de tablero en el lado Raimundo Fernández Villaverde. El hormigón se vertió sobre encofrado de madera apoyado en cimbra sobre el suelo.
- 4.º) Desencofrado del tramo.
- 5.º) Construcción de 66 m. de tablero en el lado Reina Victoria.
- 6.º) Desencofrado del tramo.
- 7.º) Construcción de los 20 m. centrales empalmando los dos anteriores.

Durante toda la construcción de la obra se ha mantenido el tráfico en la plaza y las calles afluentes en estrecha colaboración con la Jefatura de Tráfico de Madrid. Para ello se circulaba por el tramo central y uno de los laterales durante la construcción del otro y por los dos laterales durante la construcción del central.

DATOS TECNICOS

Las mediciones del viaducto son:

- 2.500 m.³ de excavación en zapatas de muros y pilas.
- 2.200 m.³ de hormigón para armar.
- 2.000 m.³ de hormigón para pretensar.
- 850 m.l. de pilotes de 160 X 0,65 m.
- 120 m.l. de pilotes de 1,00 m.
- 6.000 kgs. de acero de 46 kg./mm.²
- 850.000 m. x ton. de cables de pretensado longitudinal y transversal.
- 6.000 m.² de encofrado para hormigón visto.
- 2.500 m.² de encofrado para hormigón oculto.
- 15.000 m.³ de volumen cimbrado.

Autores del proyecto y directores de obra: Carlos Fernández Casado, Javier Manterola Armisén, Leonardo Fernández Troyano.

Propietario: Excmo. Ayuntamiento de Madrid.

Empresa Constructora: Huarte y Cia. Ing. José Manuel López Sainz.

Enc. Luis Martínez.

Construcción: 1969.

Sistema de Pretensado: C.C.L.



Fotos: Kindel, Paisajes
Españoles, Gómez