

# MADRID Y EL MANZANARES

## EL RIO, LA CIUDAD Y SUS PUENTES (\*)

Por CARLOS FERNANDEZ CASADO

Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos.

*Se termina en este artículo la serie de cuatro en la que el autor ha pasado revista a la evolución de la capital de nuestra nación desde la consideración de las obras realizadas en su río. Esta serie de artículos han sido para el autor motivo de conmemoración de los cincuenta años de su relación con la REVISTA DE OBRAS PUBLICAS, de los cincuenta años de vida ingenieril y el actual del término de su vida profesional en activo (jubilación).*

Hemos pasado revista a los puentes anteriores al siglo XX, empezando por los dos más clásicos de Segovia y de Toledo, homónimos de las ciudades más próximas a Madrid, y que heredaron el servicio de otros dos cuyos antecedentes se remontan a la Edad Media.

En el siglo XVIII, un nuevo puente, el de San Fernando, se añade a los anteriores, empezando al servicio exclusivo de las personas reales, para pasar a servicio público en fecha que no hemos podido determinar. Lo mismo ocurre a principios del siglo XIX con el puente del Rey, cuya designación indica la pertenencia al monarca, que pasa también a disfrute público en 1935, ensanchándose al mismo tiempo para hacer frente al cambio verdaderamente notable en el tráfico.

Ya hemos hecho referencia a otro puente que aparece en este último siglo, el de los Franceses, que trae la novedad de servir a un nuevo tráfico, el ferroviario, y, aunque mantiene la estructura característica de arcos, volviendo al medio punto abandonado por los elípticos del puente de San Fernando y por los escarzos del puente del Rey, introduce una variación im-

portante: la de implantarse oblicuamente en el río.

Dos puentes nuevos, y con novedad estructural notable, pues adoptan la estructura metálica, son los de las otras dos líneas ferroviarias salientes de la capital para dirigirse al Sur y al Este, desde la estación de Atocha uno de ellos, y al Oeste, desde la estación de las Delicias, el otro. Pero estos puentes quedan en el extrarradio de la ciudad y eran poco urbanos. El de la línea del Oeste, que era el más próximo, desapareció hace pocos años.

En nuestro siglo la construcción de puentes en el Manzanares se inicia con el de la Princesa de Asturias, quien pone la primera piedra en 1901, pero, por muerte prematura, no asiste a la inauguración, que se demora hasta 1909, en razón de las extraordinarias dificultades económicas que padeció nuestra nación en este comienzo de siglo.

Al año siguiente se termina el de la Reina Victoria, que se construye de hormigón armado, siendo uno de los primeros de este material realizados en España. Viene después un período inactivo de veinte años hasta la llegada del puente de Puerta de Hierro, seguido del puente de Viveros, ambos de hormigón armado, construidos por el Gabinete Técnico de Accesos y Extrarradio, que van acompañados del ensan-

(\*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta revista hasta el 30 de junio de 1975.

che del puente del Rey, llevado a cabo por el Ayuntamiento de la capital.

Durante la guerra civil se destruye el puente de Viveros, que vuelve a reconstruirse, con los mismos planos, un año después, terminándose además por las mismas fechas el ensanche del puente de Segovia, iniciado por el organismo antes citado.

La última etapa de construcción corresponde a los puentes pretensados, el primero de los cuales es el puente de Praga, denominado así por quedar en las proximidades de la iglesia del Santo Niño de Praga, que ha sustituido a otro de vida efímera, que se implantó entre los de Segovia y Toledo, heredando de este último la versión hacia la ciudad titular.

Después de este puente vienen los cuatro correspondientes al tercer cinturón de la capital, recientemente inaugurados (noviembre de 1974), tres de ellos en arterias radiales, dando permanencia uno al antiguo de San Isidro, y relevando los otros dos al de Toledo. El cuarto, agrupa en la orilla izquierda las dos vías marginales del cinturón, mediante traspaso de orilla, a la que se ciñe más cerca de la ciudad.

### **Puente de la Princesa.**

El primitivo puente recogía dos variantes introducidas por los del siglo XIX: una, en material, la estructura metálica traída por los puentes ferroviarios, y la otra, en forma, el arco rebajado adoptado por los de fábrica en ese mismo siglo.

Se dedicó a la princesa de Asturias, quien puso la primera piedra en 1901, pero, como ya hemos dicho, la inauguración se llevó a cabo en enero de 1909, por don Alfonso XIII, quien puso la última piedra simbólica.

Era un arco de 50 m de luz rebajado al décimo, triarticulado en clave y arranques, sistema muy empleado en esta época para los puentes metálicos de gran rebajamiento. Tenía anchura total de 8 m, con una estructura de tres cuchillos a 3 m de separación, cada uno de dos cordones, el superior horizontal y el inferior arqueado con el rebajamiento indicado, unidos ambos entre sí por triangulación Pratt y los cuchillos mediante vigas transversales a nivel de los cordones y cruces de San Andrés

en los planos transversales. El tablero era de emparrillado metálico con pavimento de macadam sobre placas metálicas abovedadas, separado de las aceras elevadas, que llevan placas de acero estriadas, por dos largueros longitudinales que además contienen el pavimento.

El proyecto inicial fue de D. Vicente Machimbarrena, con modificaciones durante construcción por D. Basilio Beamonte, siendo el ingeniero encargado de la obra D. Manuel Arregui, de la Jefatura de Obras Públicas de Madrid, a la que correspondió como jefe en la inauguración D. Enrique Cardenal. La construcción se llevó a cabo por la Maquinista Terrestre y Marítima.

Resolvió el problema de dar salida directa a la carretera de Andalucía, continuando el paseo de las Delicias. Por su latitud tan reducida, y la inadecuación a las cargas circulantes, siempre en aumento, quedó verdaderamente inútil a los veinte años de su construcción. Fue sustituido en 1929 por el puente actual, en el cual se volvió al sistema de arcos, ahora parabólicos y de mayor peralte que el medio punto. Los arcos son de hormigón con una reducida armadura y soportan un tablero de hormigón armado. Su latitud total, de 18 m, ha vuelto a quedar insuficiente para el tráfico actual y lo será más cuando funcione como arteria del tercer cinturón, por lo cual se ha pensado ensancharlo con el mismo sistema estructural.

### **Puente de la Reina Victoria.**

Este puente fue objeto de un concurso de proyectos en el que se presentaron soluciones de piedra, hormigón y hormigón armado, adjudicándose, en 1908, a la solución de este último material presentada por D. Eugenio Ribera. Se construyó en doce meses, probándose en junio de 1909 y abriéndose a la circulación en 1910.

La anchura total es de 14 m, con calzada de 9 m entre dos andenes de 2,50 m.

Sigue las directrices de los puentes de Sejourné, principalmente el de Luxemburgo y el de Amidoniers de Toulouse, con bóveda de dos anillos, pero se hizo de hormigón armado tanto el tablero como las bóvedas, siendo uno de los primeros puentes construidos totalmente de este material. Se utilizó la experiencia obtenida en el puente de la Reina Victoria, de San Sebastián. Las cimentaciones fueron de cajones de

## PUENTE DE LA PRINCESA DE ASTURIAS

Puente primitivo, 1901-1909.

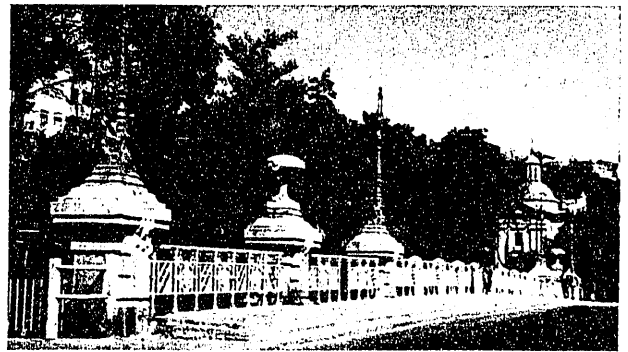
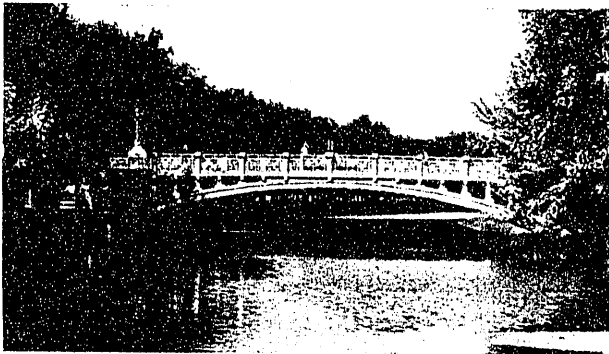
Ingenieros: Vicente Machimbarrena y Basilio Bezmonte.  
Construcción: Maquinista Terrestre y Marítima.



## PUENTE DE LA REINA VICTORIA (1908-1910)

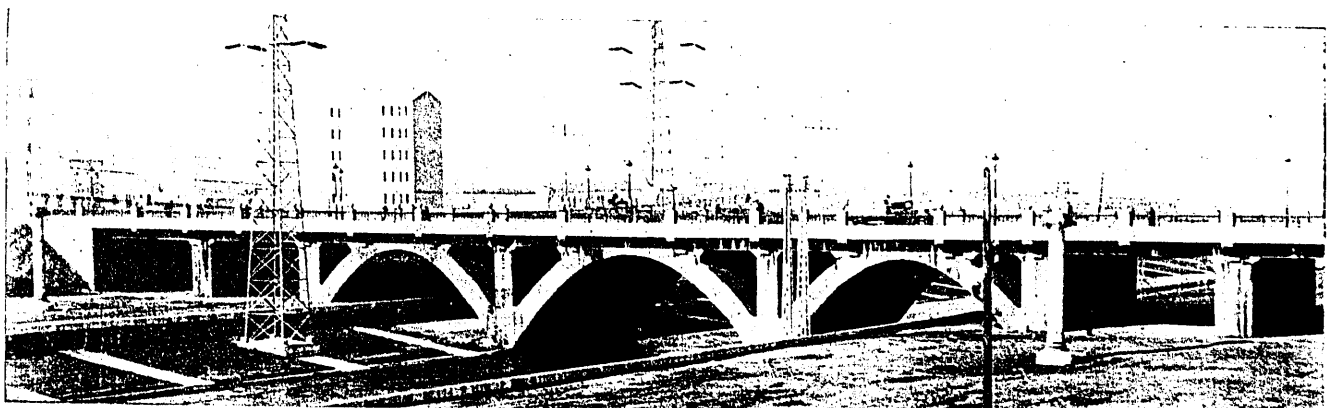
Proyecto y construcción: Eugenio Ribera.

COLEGIO INGENIEROS DE CAMINOS  
BIBLIOTECA



## NUEVO PUENTE DE LA PRINCESA (1929)

Ingeniero: Alberto Lafón.



aire comprimido, también de hormigón armado, que descendieron hasta 8 m.

Son dos bóvedas gemelas de sección constante  $2,80 \times 0,90$ , soportando un tablero formado por vigas transversales enlazadas por forjado superior de 20 cm.

El presupuesto de contrata ascendió a cuatrocientas treinta y siete mil pesetas, y el de la Princesa, con sólo 8 m de ancho, a cuatrocientas diez mil pesetas.

### **Puente de Puerta de Hierro.**

Fue el primer puente construido por el Gabinete de Accesos y Extrarradio de Madrid, creado por el ministro de Obras Públicas, D. Indalecio Prieto. Su objeto fue mejorar la salida de Madrid por la carretera de La Coruña, inadecuada para el tráfico existente especialmente en días festivos. La capacidad del puente de San Fernando y su acceso del lado Madrid constituían un verdadero tapón, teniendo en cuenta que a continuación se encontraba la Cuesta de las Perdices con pendiente fuerte para los coches de la época.

La solución vial consistió en un enlace en curva circular única de la alineación anterior a la glorieta de Puerta de Hierro con la de la Cuesta de las Perdices, bifurcándose la carretera hacia El Pardo en la misma glorieta de dicha Puerta. Esta alineación curva corta al río con gran oblicuidad y en curva, desarrollando dentro del cauce una longitud de unos 150 metros, que, para las necesidades hidráulicas, se dividió en una zona de 50 m que corresponde al puente propiamente dicho y otra de 100 metros para las avenidas extraordinarias. El puente se inauguró en julio de 1934.

La obra consta, pues, de dos partes: el puente del cauce normal, que es un tramo recto de hormigón armado de tres vanos ( $15 + 20 + 15$  m), sobre pilas de máxima diafanidad formadas por ocho columnas cilíndricas de 0,70 m en cada pila, y sobre estribos continuos de hormigón armado revestidos de sillarejo de granito. El tramo de avenidas, que es una palizada de losa de hormigón armado de 0,30 m de espesor, sobre columnas cilíndricas de 0,40 m, y capiteles troncocónicos distribuidos en recuadros de malla directriz de  $5 \times 5$  m, pero amoldándose a la curvatura de la planta.

La obra principal es un modelo (50 m, serie VI) de nuestra colección de puentes de altura estricta, de dintel continuo, planta poligonal para adaptarse a la curva y oblicuidad sobrepasando los  $45^\circ$  en una de las extremidades. En sección transversal con latitud de plataforma de  $2,50 + 12 + 2,50$  m, el dintel está dividido en dos mitades simétricas por junta longitudinal, constituyéndose el tablero por cuatro vigas de altura variable entre 0,90 y 1,40 m mediante acartelamientos rectos, y enlazadas entre sí por un tablero superior de 0,20 m y otro inferior en la zona de acartelamientos, más ocho vigas riostras transversales. El tablero vuela 1,80 m desde paramentos de vigas exteriores, y 0,50 m desde las vigas internas.

El tramo de avenidas necesario únicamente en la margen izquierda, pues la derecha queda perfectamente definida mediante escarpe, es una palizada también de la colección de puentes de altura estricta formada por losa de espesor constante de 0,30 m en zona de calzada y recrecida en las fajas laterales de aceras hasta 0,50 m. Esta losa se sustenta sobre columnas de 0,40 m a distribución en recuadros de  $5 \times 5$  m, empotradas en zapatas cuadradas de  $2 \times 2$  m, que sirven además de encepados del pilotaje. Se amplían en cabeza al diámetro de 2 m, quedando solidarizadas con la losa.

La cimentación de pilas y estribos de la obra principal es directa, pues se encontró superficial la marga consistente que caracteriza la base de las arenas cuaternarias del lecho del río. En cambio, todas las columnas de la palizada hubieron de cimentarse mediante pilotes con longitudes variables entre 5 y 11 m, disponiéndose cuatro pilotes por columna. Al final de la palizada una pantalla vertical sustituye al estribo correspondiente.

### **Puente de Viveros.**

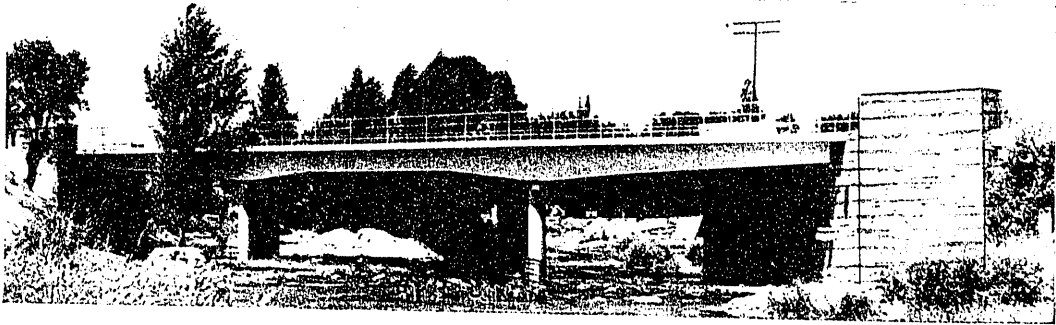
El segundo puente realizado por el Gabinete Técnico de Accesos y Extrarradio de Madrid fue el puente denominado de Viveros, por cruzar los viveros del Ayuntamiento, enlazando las dos márgenes del río mediante alineación oblicua de casi  $45^\circ$  que prolonga la avenida de Séneca, construida poco antes por la Ciudad Universitaria. Como el Gabinete había abierto a la circulación pública la vía de Castilla ampliándola a tres carriles, este puente quedaba en un pun-

# PUENTES DE HORMIGON ARMADO

## PUENTE DE PUERTA DE HIERRO (1931-1934)

Ingenieros: Carlos Fernández Casado y Silverio de la Torre.

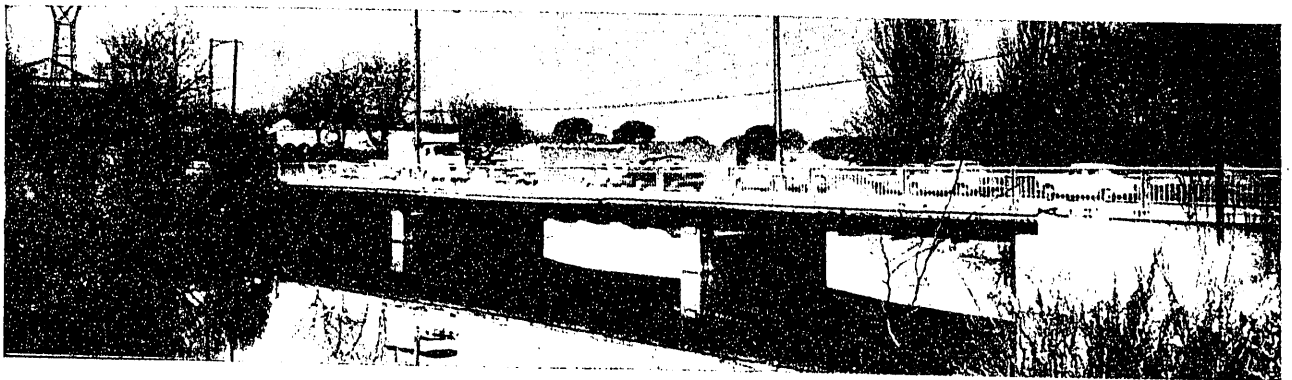
Construcción: Huarte y Cía.



## PUENTE DE VIVEROS (1934-1935)

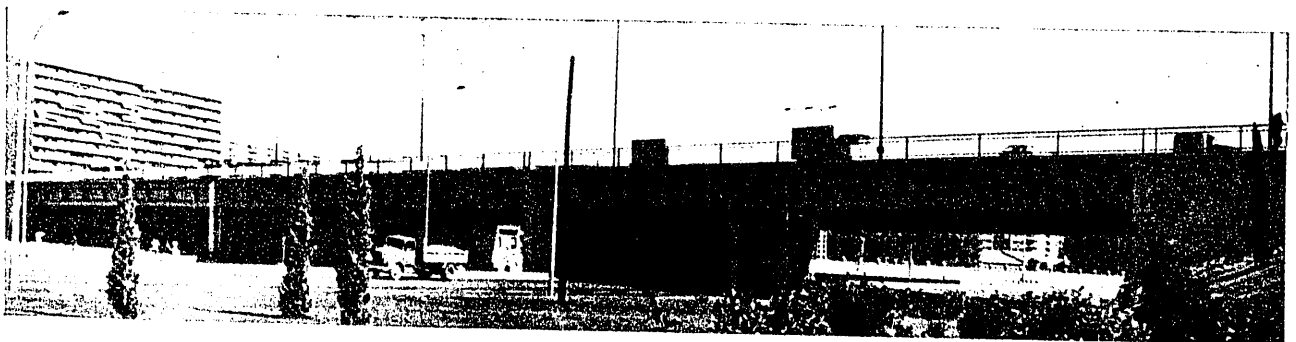
Ingenieros: Amalio Hidalgo y González.

Construcción: Cimentaciones y Obras.



## PUENTE DE PRAGA

Construcción: Entrecanales y Távora, S. A.



## PUENTE DE EL PARDO (1933-1935)

Ingeniero: Carlos Fernández Casado.

Construcción: Huarte, S. A.



to realmente estratégico a media distancia entre el de Puerta de Hierro y el de El Rey, el cual había pasado también al disfrute público ensanchado a cuatro carriles, como ya dijimos al tratar del mismo. Fue destruido durante la guerra civil, pero se reconstruyó con los mismos planos del primitivo.

Es un puente de tramo recto que salva el río mediante tres vanos de  $17 + 26 + 17$  m, mediante estructura de hormigón armado constituida por un dintel dividido en tres tramos, uno central de 16 m simplemente apoyado en las ménsulas de los laterales, que son solidarios de los pilares. En sección transversal se adoptó una sección análoga a la del de Puerta de Hierro, con calzada de 12 m y andenes elevados de 2,50 m, organizándose también en dos mitades simétricas separadas por junta longitudinal. Cada medio tablero se organiza en cuatro vigas longitudinales de altura variable mediante acartelamientos rectos, entre 1,50, 1 y 0,70 m y anchura constante de 0,40 m, enlazadas por un forjado superior de 0,30, y además por uno inferior de 0,20 en la zona de acartelamientos.

Las pilas están constituidas por cuatro pilares rectangulares de  $1,25 \times 0,65$  m en cada mitad de la plataforma. La cimentación se realizó también mediante pilotes hincados.

### **Puente de Praga.**

En la alineación de la calle de Santa María de la Cabeza, teniendo en cuenta las facilidades que existían en la margen de enfrente para obtener un empalme directo con la carretera de Toledo, se construyó un puente de varios arcos rebajados, en el cual a los pocos años se presentaron problemas debidos a los asientos de cimentación, el estudio de los cuales condujo a la demolición del mismo.

Se sustituyó por un puente de tramos rectos de hormigón pretensado, solución la más idónea en la actualidad para los puentes de nuestro río, y que ha sido el primero de los de este nuevo sistema, habiéndose terminado en el año 1967.

Consta de cuatro tramos rectos simplemente apoyados de 45 m de luz, realizados mediante vigas longitudinales en número de ocho por tramo, que se prefabricaron en la orilla y se lanzaron con pasarela metálica auxiliar, hormigonándose después el trablero superior que las

reúne. La altura de las vigas es de 2,70 m y además de coronarse por el tablero *in situ* se arriostan mediante vigas transversales en número de ocho. Las vigas externas ostentan el relieve de sus cabezas y unos salientes triangulares correspondientes a las vigas transversales, solución que ha adoptado la empresa Entrecanales desde su primer puente pretensado en 1954 sobre el río Tinto, en San Juan del Puerto, en cuya construcción intervinimos.

Los tramos laterales extremos de este puente sirven para el paso de las vías del tercer cinturón. Además un tramo idéntico a los del puente, pero independiente de los mismos, sirve para el paso de las radiales correspondientes sobre las vías de servicio marginales en ambas orillas.

## **PUNTES DEL TERCER CINTURON**

### **Puente oblicuo del Manzanares.**

Este puente enlaza las vías de la autopista, que normalmente van por ambas orillas del río, para llevarlas definitivamente a la de la derecha en dirección hacia el nudo del puente del Rey, evitando el paso a distinto nivel de la calzada del puente de Segovia, correspondiente a la orilla izquierda.

Aparece así un puente sobre el río caracterizado por su gran oblicuidad, y con latitud de dos carriles pasando por encima de los muros de encauzamiento, pero independiente para no transmitirles carga alguna. Las curvas de enlace con las alineaciones de las vías de ambos lados, hace que haya una gran asimetría en las zonas extremas al acoplarse a los muros de encauzamiento, que están también en alineación curva. La superficie tiene peralte transversal variable desde el 0,4 al 5,50 por 100.

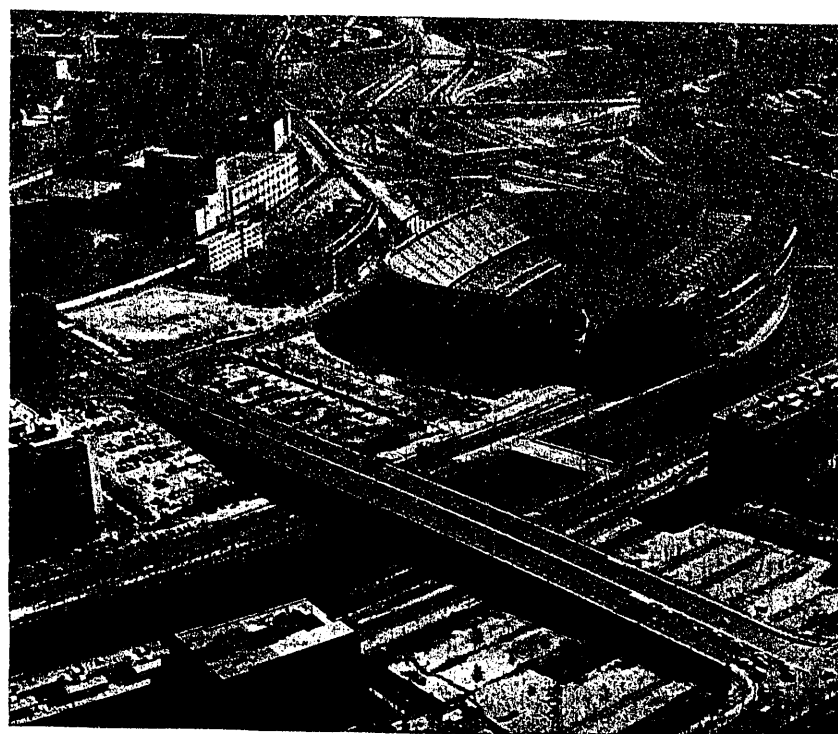
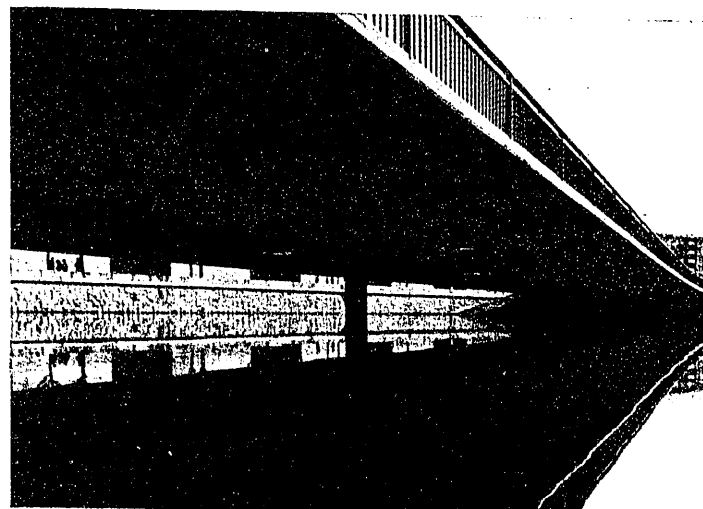
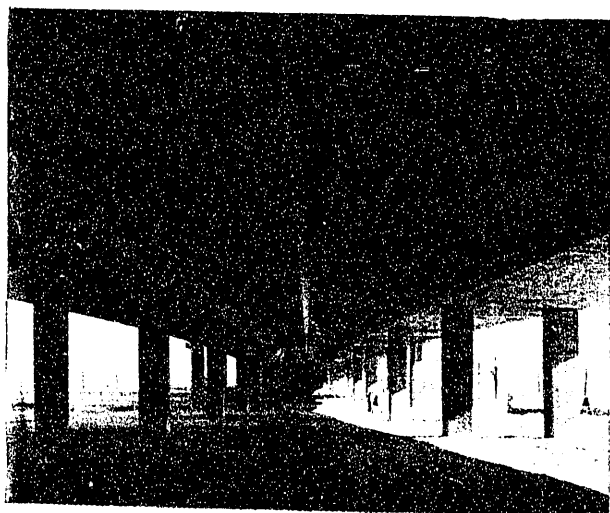
En el dintel hemos llevado a su concreción más simple la definición de estructuración del plano horizontal de la plataforma, pues hemos elegido una solución de losa continua de espesor constante, con las embocaduras afiladas en bisel para obtener sección transversal trapecial. Esta plataforma la hemos delimitado en sus extremidades por paralelas a los muros de encauzamiento, retranqueadas por detrás de ellos lo suficiente para no transmitirles cargas.

La longitud del puente es de 155,50 m en el eje del tablero, aunque la anchura de la canalización es sólo de 40 m. Hemos dispuesto dos

PUENTE OBLICUO  
Y PUENTE DE SEGOVIA

PUENTE OBLICUO  
DESDE ORILLA DERECHA

PUENTE DE SAN ISIDRO



filas de apoyos longitudinales, ya que una sola fila obligaría a columnas muy gruesas, pues la anchura de la plataforma es de 15 m. Estas dos filas llegan hasta los muros de encauzamiento, destacando una zona intermedia de funcionamiento claro, pues las columnas están dispuestas en ejes perpendiculares al longitudinal, mientras que en las extremidades aparecen las anomalías de oblicuidad y curvaturas de los muros de encauzamiento, alineación oblicua del puente y asimetría completa de una extremidad respecto de la otra. Esta es tan importante que mientras en la margen derecha el tablero se corta al final por una línea oblicua que lo delimita netamente, en la izquierda que corresponde a la extremidad de aguas abajo, el borde curvo en el mismo sentido que los muros de encauzamiento, ha obligado a dejar independiente un afilado cuchillo triangular destacado del paralelogramo ligeramente deformado de la plataforma, el cual funciona en vuelo desde el borde con su correspondiente contrapeso interno.

Tenemos así un cuasi-paralelogramo, con una de las esquinas chaflanada, que se sustenta en sus dos bordes oblicuos sobre sendas filas de pilotes alineados detrás de los muros de encauzamiento, paralelos a sus paramentos y a suficiente distancia para no afectar ni al cuerpo del muro ni a sus cimientos. En el intermedio la sustentación está constituida por dos filas longitudinales de columnas, las últimas de las cuales quedan en las proximidades de los muros y también a distancia suficiente de éstos para que los pilotes de su cimentación cumplan las condiciones que acabamos de indicar.

Hemos elegido una luz de 25 m entre parejas de columnas en dirección oblicua para que sea económica la losa aligerada como solución del tablero y además para que así como se alinea cada pareja de las más próximas en dirección perpendicular al eje del puente, resulten también alineadas cada dos en diagonal al mirar en la dirección del río. En cada ángulo queda interrumpida la paridad de columnas, quedando una aislada en extremidad derecha y dos en la izquierda.

Como ya hemos indicado las columnas que constituyen los apoyos quedan aparejadas transversalmente y además, dada la luz y separación, también en filas de dos en la dirección de la corriente. La forma circular es la de menor obstáculo al río en avenidas como también al po-

sible tráfico de barcas en el río canalizado, siendo además la distancia de 25 m entre cada una de las filas transversales lo suficientemente amplia para no detener cuerpos flotantes que en un momento dado puedan formar represa en el río. Los vanos útiles en los puentes antiguos no llegan a 10 m.

Los efectos del frenado, retracción, fluencia y variación de temperatura, se recogen en apoyos de teflón y apoyos de neopreno, estando colocados los primeros en el estribo móvil que es el de margen derecha y en las columnas, exceptuando de éstas la pareja y las simples más próximas al estribo fijo, anclándose éste y aquéllas mediante hierros verticales separados a 0,25 m.

Las columnas intermedias se cimentan mediante pilotes de 1 m encepados en zapatas comunes a cada pareja mientras que los estribos van sobre viga a todo lo largo encepando una hilera de pilotes de 0,80 m.

### **Puente de San Isidro.**

El puente de San Isidro está situado donde estuvo desde el siglo XVI el pontón de San Isidro. Cruza el río Manzanares ortogonalmente pasando además por encima de las dos vías del tercer cinturón que van a ambos lados del río. Como en ambas márgenes se prevén parques de esparcimiento, disponemos tramos de acceso hasta llegar a la zona donde estos parques han de limitarse.

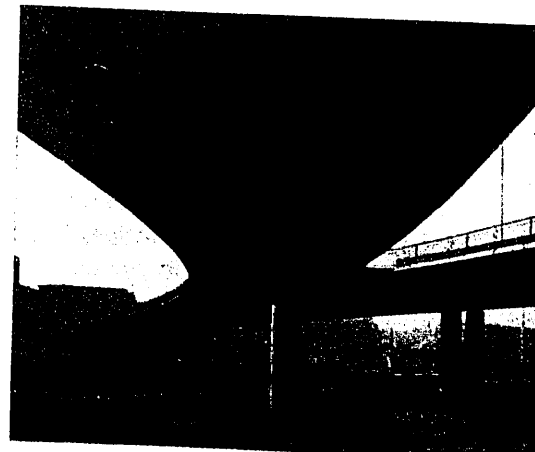
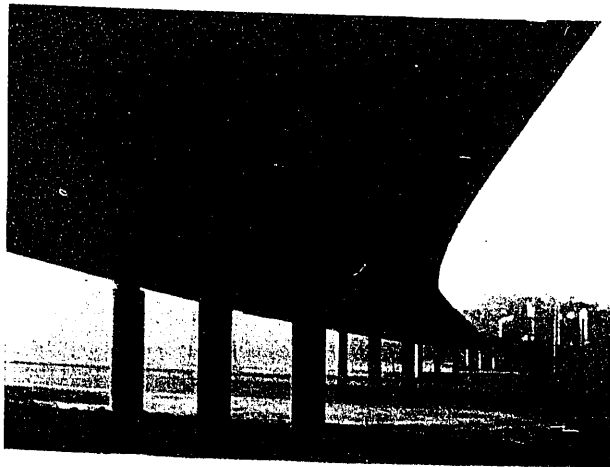
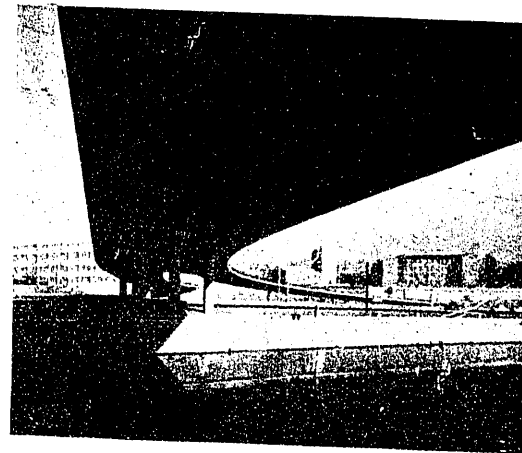
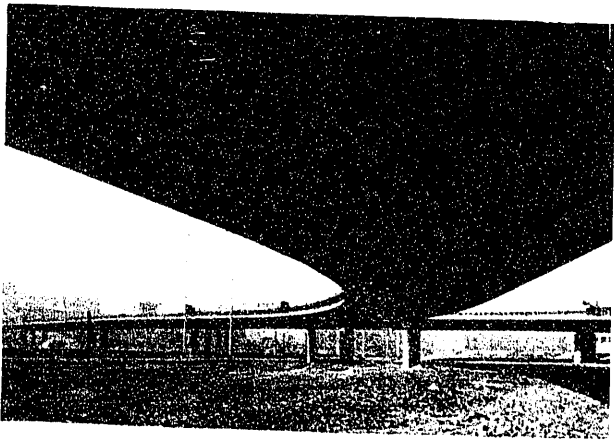
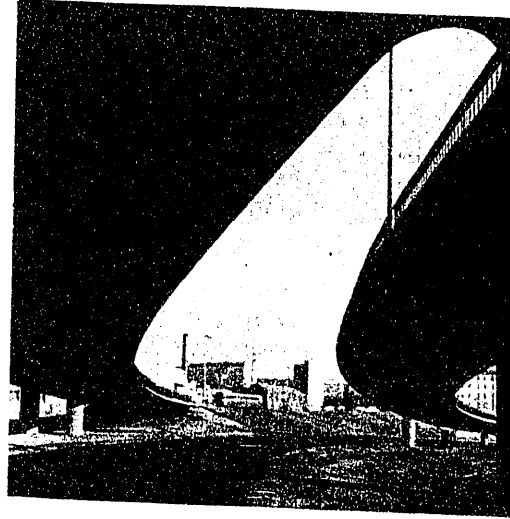
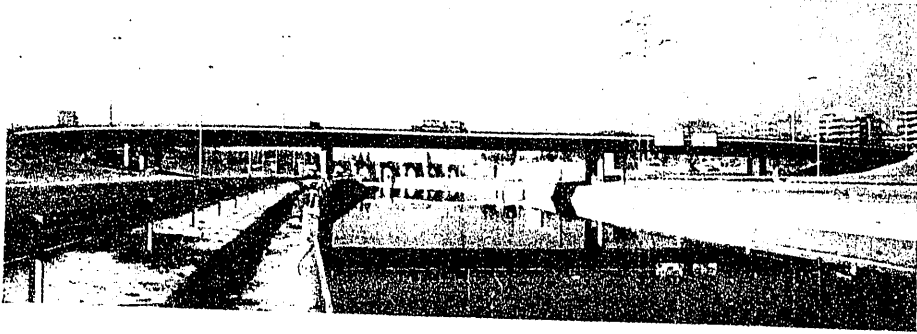
Consta de dos calzadas de 11,50 m para tres carriles cada una, mediana central de 1 m y paseos de 3 m a ambos lados, teniendo en cuenta que ha de tener un tráfico importante de peatones.

El paso del río impone un vano central de 43 m compensado por vanos adyacentes de 26,50 m que sirven además para salvar las primeras calzadas de la autopista; en el resto de los vanos hemos elegido luces de 20 m que resultan las más económicas, permitiendo además pasar ampliamente las segundas calzadas de la autopista. Los vanos extremos reducen su luz a 16,50 m. El puente queda dividido longitudinalmente en dos mitades simétricas.

En los apoyos correspondientes al paso del río disponemos tabiques trapeciales y en los demás parejas de pilares cuadrados.



PUENTE DE TOLEDO  
Y SUS DOS ACOMPAÑANTES



Queda de este modo un puente muy sereno, muy simple y muy cómodo para la utilización que se quiera de los espacios inferiores.

Dadas las magnitudes de las luces en tramo central y en los tramos de acceso hemos adoptado distinto tipo de estructura en uno y los otros dos, ambos continuos, pero con sección transversal en cajón para el central y en losa con aligeramientos alveolares para los laterales. En aquél disponemos altura variable, disposición que es más económica y agradable para las luces que salvan, y en éstos altura constante, aunque enlazando los contornos de las tres zonas, ya que en los laterales se conserva la altura mínima del central. También se conservan los vuelos a ambos lados de la plataforma y la inclinación de los paramentos laterales del cajón y del núcleo de losa, con lo cual corre en toda la longitud del dintel la misma embocadura y el núcleo resistente conserva sus planos frontales que se recortan al variar la altura.

En los vanos de 20 m correspondientes a los tramos laterales disponemos pilares dobles de sección cuadrada con aristas chaflanadas, por ser la solución más económica, ya que recogemos las compresiones que les corresponden por carga directa y además los esfuerzos ascendentes y descendentes del par que les transmite la torsión del dintel. Los esfuerzos horizontales correspondientes al frenado se reparten entre todos los pilares, pues disponemos articulaciones de neopreno en cada uno de los apoyos.

En los vanos centrales, por el contrario, las cargas horizontales son resistidas casi exclusivamente por los tabiques centrales, pues dada la diferencia de momento de inercia entre éstos y las pilas normales, las cargas se reparten casi exclusivamente sobre los tabiques, aunque disponemos neoprenos en cabezas de todas las pilas.

Para la cimentación de pilas y estribos se han adoptado pilotes de 1 m de diámetro, correspondiendo: ocho a las dos pilas centrales, cinco a las cuatro adyacentes, dos por cada lado y cuatro al resto de las pilas.

Los conjuntos de pilotes se recogen en zapatas rectangulares de  $6 \times 5,50$  para las pilas centrales, de  $5,30 \times 5$  para las pilas intermedias y de  $5,30 \times 4,50$  para las extremas. El espesor es de 1,20 en todas, llevando una armadura en emparillado en cara inferior.

## Puentes de Toledo.

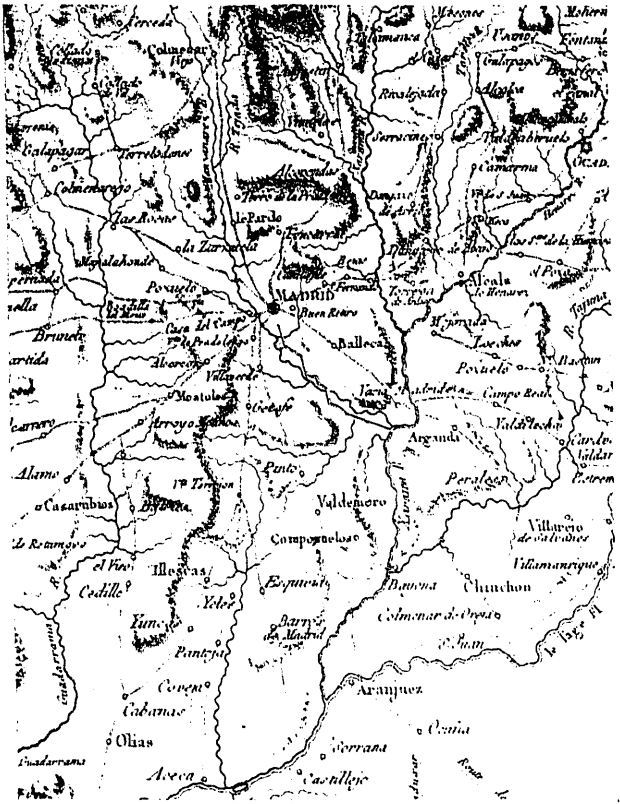
La insuficiencia del antiguo puente de Toledo para el tráfico radial que le corresponde, se puso de manifiesto hace ya muchos años, habiéndose propuesto diversas soluciones para ampliarlo, entre las cuales: el ensanchamiento por el mismo sistema del puente de Segovia, el traslado del puente para dejarlo como puente monumental y hasta el derribo del mismo. Al llegar la canalización nueva a la zona del puente (año 1952), se nombró una comisión múltiple para estudiar el problema, examinando todas las soluciones anteriores, proponiendo una solución nueva, que es la de duplicarlo mediante dos puentes paralelos aguas arriba y aguas abajo de hormigón pretensado a iguales distancias del actual, dejando a éste como monumento y para paso de peatones, y ajardinando en parque público toda la zona abarcada entre ellos.

Esta última solución propuesta en anteproyecto por Carlos Fernández Casado y Fernando Chueca, es la que se ha adoptado al cabo de los años para resolver la interacción puente de Toledo-tercer cinturón, separando a mayor distancia los dos puentes gemelos que lo duplican, e incorporando el parque entre los puentes al parque de la Arganzuelo en ejecución por el Ayuntamiento. Además se hizo una consulta oficial a la Academia de Bellas Artes, con los planos detallados de los puentes antes de proceder a la redacción definitiva de los proyectos, a la cual dio su visto bueno el citado organismo.

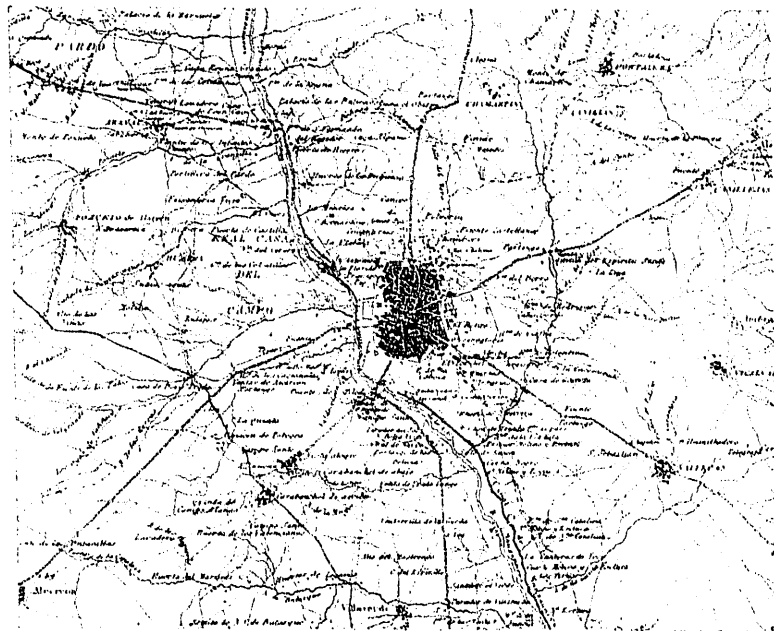
Las condiciones de máxima serenidad y diaphanidad que son esenciales en la solución de los puentes urbanos y con mayor fuerza en este caso, se obtienen con un dintel horizontal pretensado de tramo continuo y altura estricta constante del tipo losa aligerada. Con esta organización estructural y teniendo en cuenta que el vano obligado es el paso de la actual canalización del río con luz teórica de 45 m obligada para no interceptar los muros de encauzamiento con sus cimentaciones, hemos llegado a una altura de losa útil del orden del  $1/33$  de la luz, o sea, de 1,40 m, a la cual hay que añadir 0,20 m correspondiente al reborde de los andenes de servicios.

Las luces de los vanos inmediatos al central se han podido ajustar en 32 m para ambos puentes quedando encajados de un modo muy

EVOLUCION DE LOS CAMINOS DE ACCESO A MADRID POR EL LADO DEL RIO

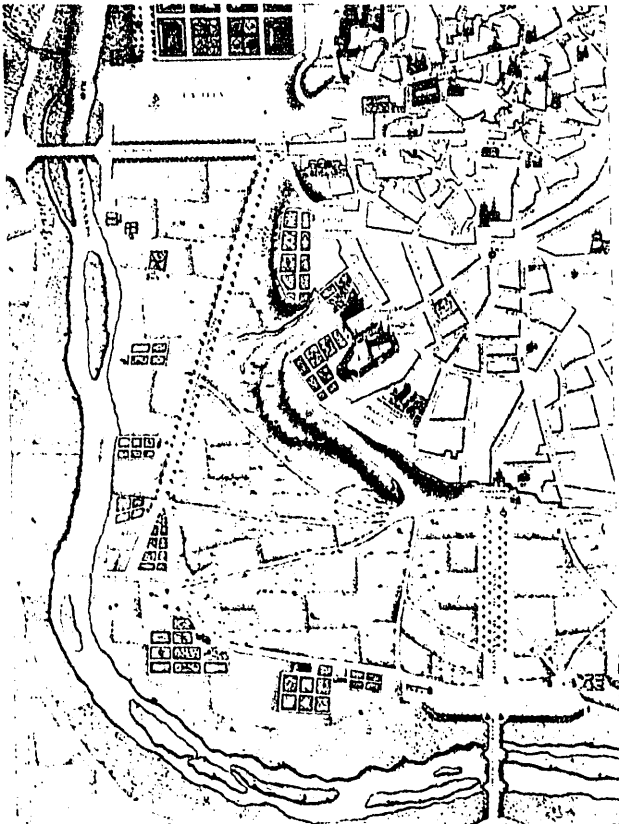


Laborde, 1808.

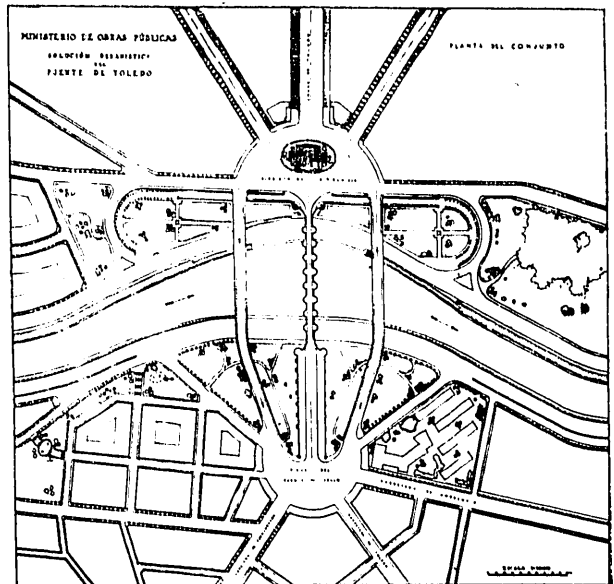


Coello, 1848.

COLEGIO INGENIEROS DE CAMINOS  
BIBLIOTECA



Chalmandier, 1761.



Primer proyecto de duplicación del puente de Toledo.  
Fernández Casado-Chueca.

natural sin estribos finales prolongando el dintel con un vano por cada lado para el puente de Toledo-Este, y con dos del lado Madrid y uno del lado contrario en el Toledo-Oeste. Estos últimos vanos salvan luces entre 33,48 y 26,70 m.

Para los apoyos intermedios hemos dispuesto la solución de máxima diafanidad, pilares cilíndricos en dos o tres filas para dar impresión de serenidad, reduciendo su diámetro a 1,10, que para los gálibos que se manejan resultan esbeltas sin alarde. En el Toledo-Este son tres filas que se reparten en dos y una cuando en el Toledo-Oeste se bifurca el tablero.

El dintel de sección trapezoidal con 1,40 m de altura se aligera mediante dos, cuatro o siete alvéolos cilíndricos de 1 m de diámetro y 1,40 m de separación, situadas en la zona correspondiente a la base menor, que es de 9,5,50 ó 2,50 m, según los casos.

En este último puente y en el lado Madrid tenemos que realizar también en obra de fábrica elevada uno de los enlaces entre el puente y la vía correspondiente del tercer cinturón. Se despega del tablero general en dos vanos de 30 y uno de 27,91 m, quedando con una anchura de 8,60 m.

Aunque la sección del dintel es un trapecio perfecto, se añaden dos rectángulos correspondientes a los andenes de servicios con sobrealto de 0,20 m, quedando los bordes extremos con un espesor aparente de 0,30 m. Dos planos inclinados en bisel que levantan 1,20 en 2,75 m por cada lado, sirven de embocadura al paso, quitándole efecto túnel, pues amplían el ángulo de visión al pasar bajo el puente y acortan la latitud del paso propiamente dicho de 14,50 a 9 m, atenuando el obstáculo virtual que representa el dintel para el conductor que pasa por debajo. Así se cumple el deseo expresado por la Academia de Bellas Artes de reducir lo más posible la altura de los puentes. En altura

del dintel hemos llegado al  $1/33$  de la luz, que como ya hemos dicho, es una esbeltez afinada, en puentes continuos de losa pretensados con momento de inercia constante.

Las columnas se articulan con losa a través de aparatos de neopreno y teflón de cuatro tipos, según la carga transmitida, a excepción de las correspondientes a las dos pilas del tramo sobre el río, que tienen articulaciones fijas de extrangulación de hormigón y hierros pasantes. También se disponen articulaciones de teflón y neopreno en los apoyos sobre estribos.

La cimentación se ha llevado a cabo indirectamente mediante pilotaje de pantallas rectangulares de 0,60 m de espesor y 2,50 m de ancho, encepadas en zapatas rectangulares de hormigón armado, de las que arrancan las pilas. Para el puente de Toledo-Este tenemos dos tipos de zapatas, una de  $12,30 \times 2,80$  m, con espesor de 2, correspondiente a las pilas centrales, que encepamos siete pantallas, y otra de  $8,40 \times 2,80$  m con espesor de 1,40, para las extremas, que encepamos cuatro pantallas. En el Toledo-Oeste empleamos las mismas zapatas y pantallas en las pilas centrales y las intermedias de tres pilares, y otras dos diferentes con zapatas de  $4,70$  por  $2,80$  m y tres pantallas para las pilas de dos columnas y de  $2,80 \times 2,80$  m y dos pantallas para las de una columna.

En los estribos cimentamos las cabezas de los mismos de sección en L, con 2,50 m de base y 2,50 m de altura, cuya losa de apoyo tiene una planta de  $14,50 \times 2,80$  m y un espesor de 1,10 m, sobre pilotaje de tres pantallas en los dos estribos del Toledo-Este, y en el estribo lado Madrid del Toledo-Oeste. En los estribos del lado opuesto a este último las cabezas con la misma sección transversal son de menor latitud, 11 y 8 m, y recogen dos pantallas de las mismas dimensiones que en todo el pilotaje.