

Dos puentes construidos por el sistema de avance en voladizos sucesivos

Por **CARLOS SIEGRIST FERNANDEZ**
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Se describe el proyecto y construcción de dos puentes de hormigón pretensado, construidos por avance en voladizos sucesivos, sobre los ríos Ebro (Logroño) y Guadalquivir (Córdoba).

1. GENERALIDADES

Entre Junio de 1982 y diciembre de 1985 se han construido las variantes de la Carretera N-11 de Medinaceli a Pamplona a su paso por Logroño, y de la CN-VI de Madrid a Cádiz en la ciudad de Córdoba. Ambas tienen en común el atravesar el cauce de dos ríos españoles importantes, el Ebro y el Guadalquivir, habiéndose solucionado ambos cruces de manera análoga, mediante sendos puentes de hormigón pretensado construidos por avance en voladizos sucesivos. El presente artículo trata del proyecto y construcción de ambas estructuras.

2. PUENTE SOBRE EL RIO EBRO EN LOGROÑO

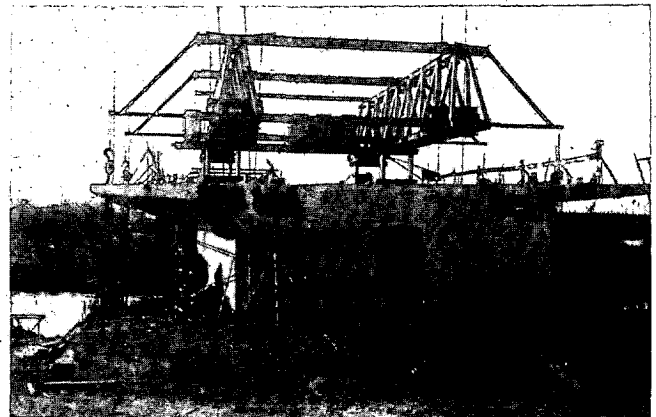
2.1. Antecedentes

La carretera N-111, de Medinaceli a Pamplona, a su paso por Logroño cruza la ciudad, atravesando el río Ebro, en la salida hacia la capital navarra, por el llamado Puente de Piedra, de finales del siglo pasado (1881-1884).

Con objeto de evitar el cruce por la ciudad del tráfico que utiliza la mencionada ruta, con un alto porcentaje de camiones, se ha construido la Circunvalación Este de Logroño, que arranca del cruce de la CN-111 con la actual Circunvalación Sur, siguiendo la traza de ésta en dirección a Zaragoza, y separándose definitivamente de ella cerca de su extremo oriental para tomar la dirección Sur-Norte, atravesando el río Ebro unos dos kilómetros aguas abajo del Puente de Piedra, y pasando por el Polígono Industrial Cantabria para incorporarse a la CN-111 a unos 5 kilómetros de la capital riojana.

El paso del río Ebro se efectúa en una zona en que la anchura del cauce de aguas medias es de unos 90 metros.

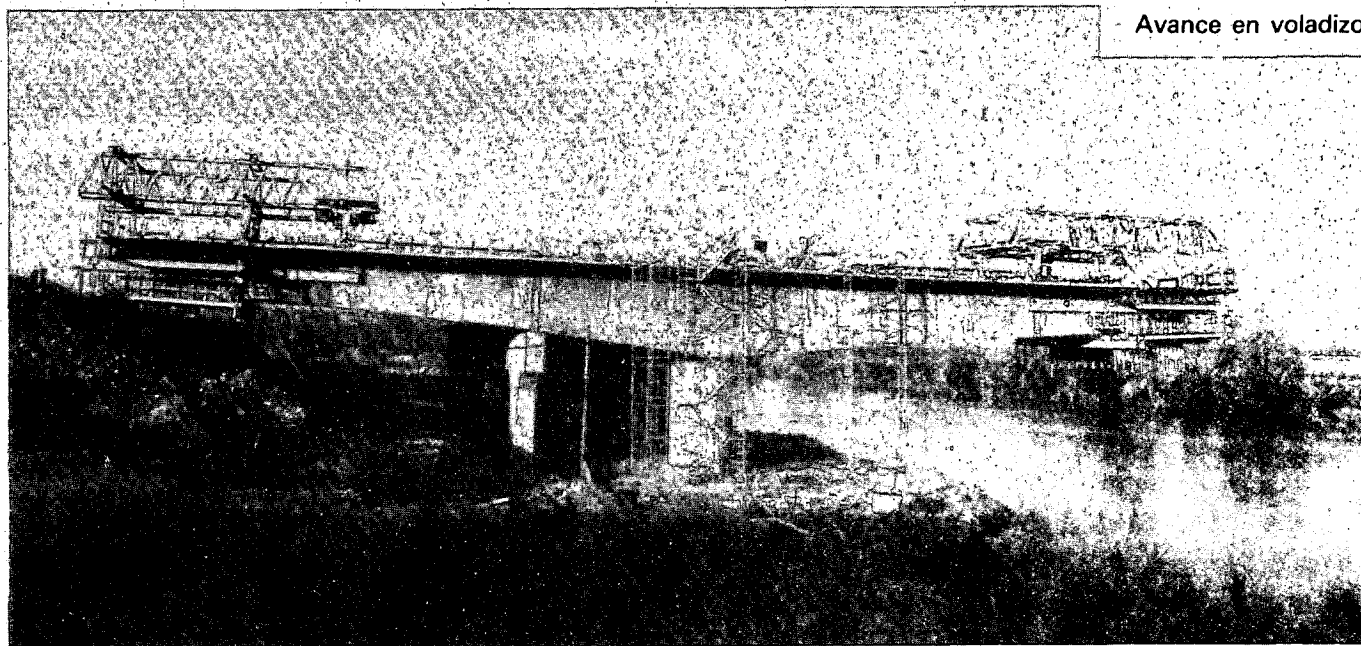
El terreno está constituido, superficialmente, por 5 o 6 metros de suelos pertenecientes a la terraza baja del río, compuesto por limos arcillosos entre los 2 y 3,50 metros superiores y por gravas redondeadas, en la parte inferior, envuel-



Riostra de estribo



Anclaje de cables de continuidad



tas por una matriz areno-limosa. Debajo aparece el Oligoceno, compuesto por estratos de naturaleza muy variable, desde arcillas margosas hasta margas arcillosas, con frecuentes intercalaciones de calizas areniscosas.

La circunvalación está proyectada como autovía, con dos carriles en cada dirección de 3,50 metros de ancho, un arcén exterior de 2,50 metros y una mediana de 3 metros entre bandas blancas, lo que da un ancho total de 22 metros. En la zona del puente se disponen unas aceras de 1,75 metros.

2.2. Descripción de la solución adoptada

Con objeto de independizar la construcción del puente sobre el río Ebro de la acción del agua se ha adoptado una solución con un vano central de 100 metros y dos laterales de 32 metros habiéndose previsto inicialmente la construcción sobre cimbra de estos últimos y mediante carros de avance en voladizo el central. Posteriormente se cambia el sistema constructivo, adoptándose la construcción en voladizo para todo el puente, excepto las zonas próximas a las pilas que se construyen cimbradas para poder montar los carros de avance.

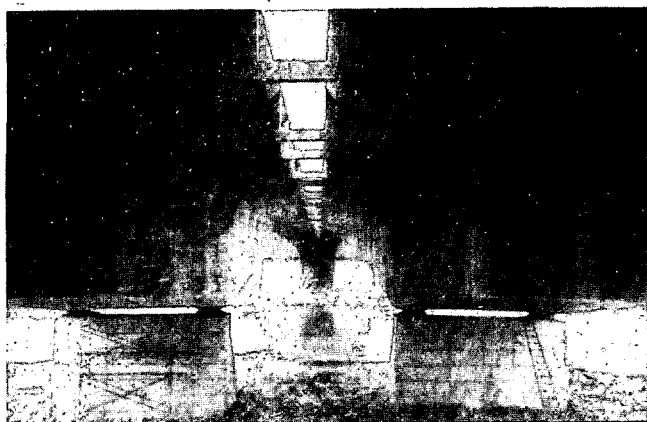
El tablero está constituido por dos vigas cajón continuas, independientes, de tres vanos de

32-100-32 metros. El ancho superior de cada una de las vigas es de 12 metros y el ancho del cajón es de 6,50 metros. El canto de estas vigas varía parabólicamente, con un valor máximo de 4,75 metros sobre pilas, 2,20 metros en el centro del vano central y 2,50 metros sobre estribos.

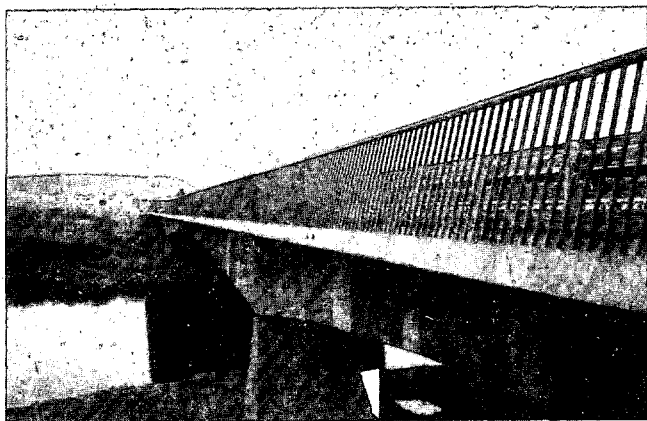
El espesor de las almas es constante de 0,48 metros; el de la losa superior es también constante de 0,18 metros en los 2,50 metros intermedios y aumenta hasta 0,35 metros en la unión con las almas, y el de la losa inferior es de 0,20 en los 50 metros centrales del puente y en la zona sobre estribos, aumentando linealmente hasta 0,75 m. sobre las pilas. Los voladizos que completan el ancho superior tienen canto variable entre 0,35 y 0,18 metros.

Los tableros están divididos en 39 dovelas, de las que 16 corresponden a los vanos laterales y 23 al vano central. La longitud máxima de dovelas es de 4,80 m. y la mínima de 3,10 m., excepto la dovela de cierre que tiene 2 metros de longitud.

Cada tablero se pretensa con 48 tendones de 15 T1/2" en cada voladizo, y con 28 toneladas de 15 T1/2" de continuidad en los 69,20 metros centrales, tesos todos ellos a 212 toneladas que equivalen al 75 por 100 de su carga de rotura. No llevan pretensado transversal ni de almas. Se han dispuesto cuatro vainas de reserva en



Vista inferior



Detalle de imposta y barandilla

la losa superior a todo lo largo, y dos en la losa inferior en la zona de cables de continuidad.

Los tableros se apoyan sobre las pilas mediante aparatos de neopreno-teflón, capaces de resistir cargas de 1.600 toneladas cada uno, y sobre los estribos mediante apoyos de neopreno zunchado atravesados por cables de 18 TI/2" tesos a 243 toneladas cada uno, que sirven para anclarlos a los estribos.

Las pilas son prismáticas, rectangulares, macizas, de $6,50 \times 1,50$ metros tienen una altura de unos 11 metros las de la margen izquierda y de 8,50 metros las de la margen derecha. Llevan tajamares variables desde un valor cero en la parte superior a 0,75 metros en la inferior, lográndose la transición mediante dos paraboloides hiperbólicos. Se cimentan cada una sobre cuatro pantallas de $2,60 \times 1,00$ metros que alcanzan una longitud de 17 metros.

Los estribos consisten en cuatro pantallas de las mismas dimensiones que las anteriores, a 6 metros de separación entre ejes, arriostradas mediante una viga de $1,80 \times 1,40$ metros a la altura del terreno natural y prolongadas hasta la zona de apoyos, en la que se dispone una losa de 0,50 metros de canto y 3 metros de anchura. Superiormente se dispone un cajón adosado al murete de cierre, de 1,20 metros de anchura y 2,15 metros de altura, para acceso al interior del tablero. La entrada a estos cajones se efectúa por pozos dejados en las aceras.

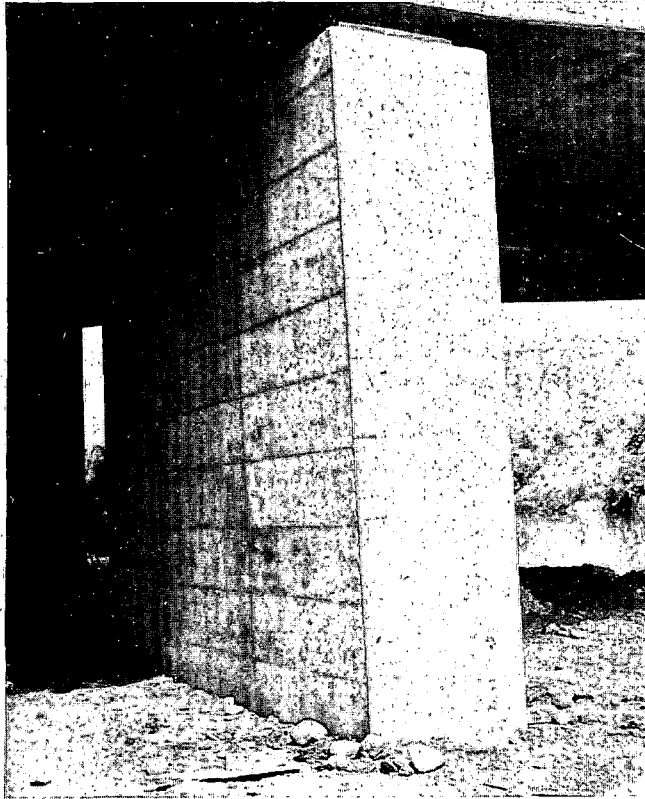
2.3. Construcción

Las pantallas de cimentación, tanto de estribos como de pilas, se excavaron utilizando lodos bentoníticos para conseguir la estabilidad de las paredes de la excavación, aunque hubo alguna que no necesitó de ellos.

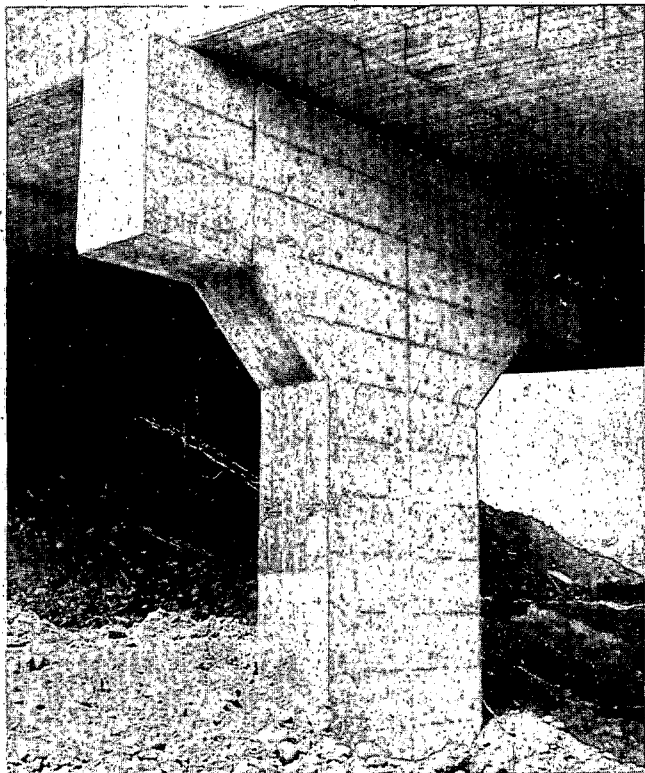
Para el hormigonado de las pilas, dada su altura reducida, se utilizaron encofrados de madera, disponiendo paneles de contrachapado para las zonas de los tajamares.

Los tableros se construyeron por el sistema de avance por voladizos sucesivos hormigonados «in situ». Inicialmente se construyeron unas zonas cimbradas sobre pilas de 14,25 metros de longitud, de los que 11,15 metros corresponden al vano lateral y 3,10 metros al central, para poder montar los carros de avance. A 9,90 metros de eje de pilas, en el vano lateral, se dispusieron apoyos provisionales para dar estabilidad al tablero durante la construcción. Estos apoyos consistían en una pantalla análoga a las de cimentación de pilas y estribos, coronada por un dintel en forma de martillo para dar apoyo y anclaje al tablero; el primero mediante aparatos de neopreno zunchado y el segundo disponiendo ocho barras Dywidag de 32 metros de diámetro, colocadas a ambos lados de las almas del cajón.

Una vez construidas siete dovelas en voladizo del vano central y cinco del lateral, se anclaba el tablero a los estribos, quitando los apoyos del apeo provisional antes de efectuar el tesado de los cables de anclaje al estribo y soltando posteriormente las barras de anclaje al apoyo provisional. En los apoyos sobre estribos se dejaron unas cuñas de madera con objeto de



Pila



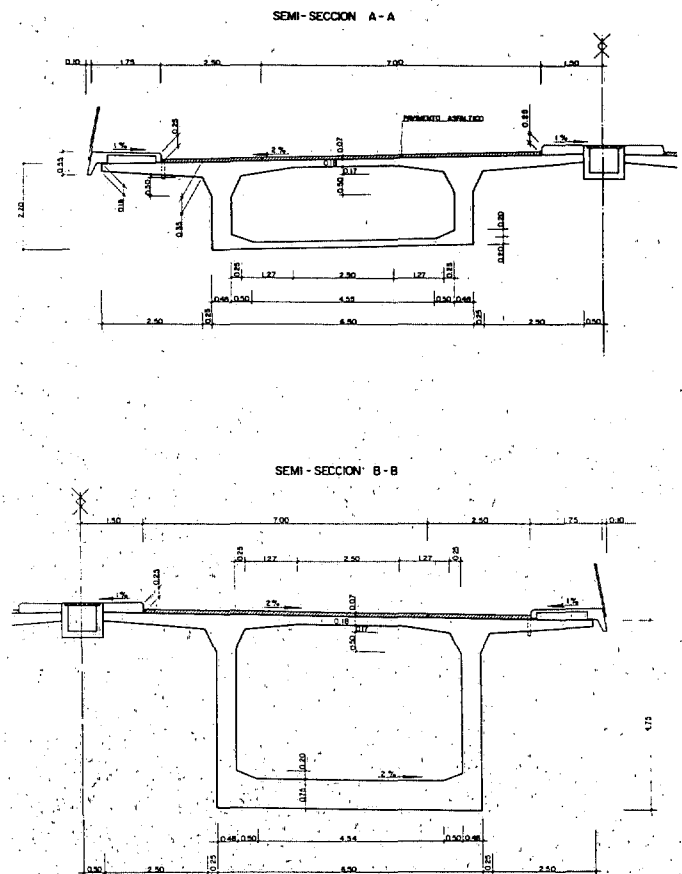
Apoyo provisional

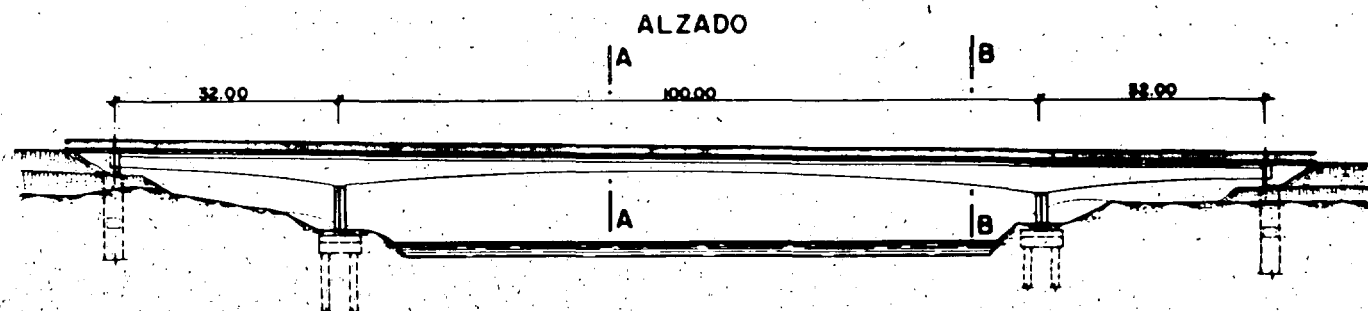
poder balancear los voladizos para enfrentarlos en el centro, caso de que fuese necesario, aunque no hubo que hacerlo en ninguno de los dos puentes.

Posteriormente se construyeron en voladizo las tres últimas dovelas del vano central, y, una vez completos los voladizos, se procedió al hormigonado de la dovela de cierre, de dos metros de longitud, apoyando un encofrado tradicional entre los dos extremos de las ménsulas enfrentadas. Por último se procedió a efectuar el pretensado de continuidad, disponiendo nervios a todo lo ancho en las zonas de anclaje de cables, dando a continuación el tesado definitivo a los cables de anclaje a estribos.

2.4. Prueba de carga

La prueba de carga del puente se realizó los días 12 y 13 de febrero de 1985, probándose el primero de los días el tablero correspondiente





a la calzada izquierda, aguas arriba, y el segundo día el tablero correspondiente a la otra calzada.

Se emplearon doce camiones, de 26 toneladas de carga total cada uno, efectuándose tres estados de carga estática, el primero colocando 6 camiones en dos filas en cada uno de los vanos laterales, el segundo con doce camiones en dos filas en el vano central, y el tercero con once camiones en una fila con la máxima excentricidad en el vano central.

Asimismo se realizó una prueba de carga dinámica circulando los camiones a una velocidad aproximada de 60 km/h. y a una distancia de unos cuatro metros entre camiones consecutivos.

Para la medición de las flechas se emplearon dos niveles WILD N2, colocados en la margen

derecha del río, fuera del puente, con longitud máxima de lectura de 165 metros y flexímetros con apreciación de la centésima de milímetro en los puntos correspondientes a apoyos, tanto de pilas como de estribos,

Asimismo se dispuso una estructura de madera rigidamente unida al tablero de aguas abajo en el centro del vano central que dibujaba en una escala colocada en un soporte de la barrea interior del puente de aguas arriba la evolución de las flechas a medida que se introducía o se sacaba la carga. Con este último dispositivo se evaluaba la flecha máxima obtenida en la prueba de carga dinámica y la bondad de las mediciones hechas con nivel en ese mismo punto.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

FLECHAS (↓ +) (mm.)

PUNTO	ESTADOS DE CARGA					
	1		2		3	
	PREVISTO	REAL	PREVISTO	REAL	PREVISTO	REAL
A 11,80 m. del estribo 1	1,46	- 1,21 2,00	- 4,23	- 3,26 - 4,00	- 2,95	- 0,52 - 2,74
A 16,60 m. del estribo 1	1,47	1,74 3,00	- 4,61	- 3,96 - 5,96	- 3,22	- 5,00 - 3,04
A 11,80 m. del estribo 2	1,48	1,48 1,89	- 4,63	- 5,37 - 1,58	- 2,95	- 3,00 - 2,74
A 16,60 m. del estribo 2	1,49	1,41 1,04	- 5,05	- 6,52 - 5,11	- 3,22	- 3,04 - 0,04
Centro del vano central	- 4,05	- 5,00 - 5,00	44,16	41,50 43,00	27,63	25,00 27,00

(En las casillas de flechas reales, las cifras superiores corresponden al puente de aguas arriba y las inferiores al de aguas abajo).

3. PUENTE SOBRE EL RIO GUADALQUIVIR, EN CORDOBA

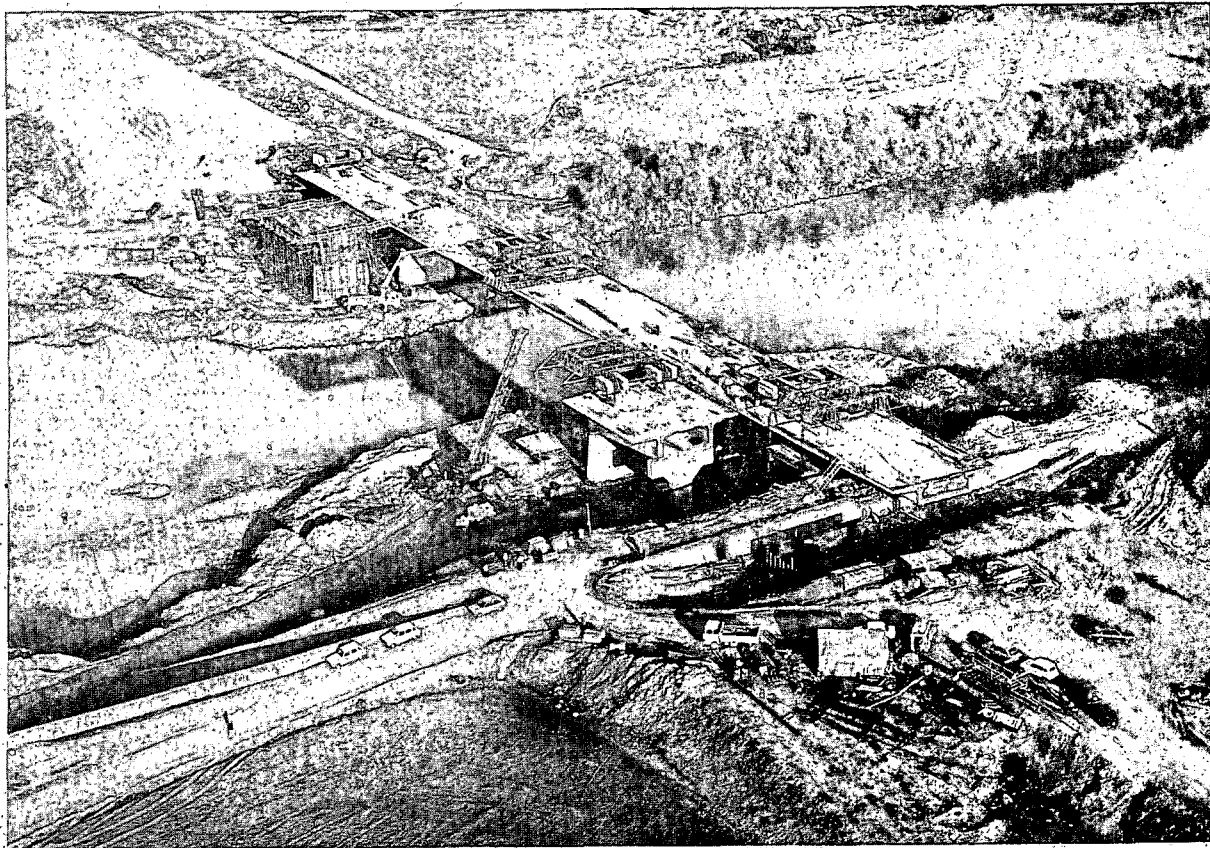
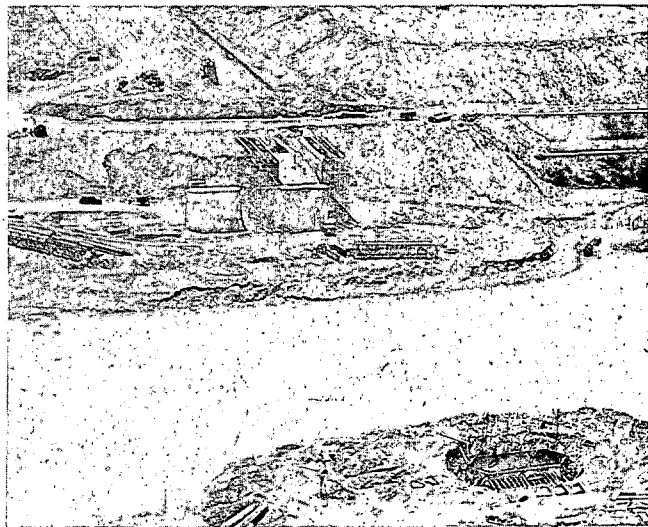
3.1. Antecedentes

El trazado de la Carretera N-IV, de Madrid a Cádiz, al atravesar la ciudad de Córdoba, se extendía a lo largo de 5 kilómetros desde la gasolinera existente en el kilómetro 398 hasta la cuesta de los Visos, de los cuales unos 2 kilómetros se desarrollaban en paralelo al río Guadalquivir, atravesándolo por el puente de San Rafael.

Para evitar el paso del tráfico por la ciudad se ha construido la Variante Sudeste de Córdoba, que, arrancando de la gasolinera mencionada, gira hacia la izquierda pasando por delante del hipermercado, y, atravesando el arroyo Pedroches, toma dirección Norte-Sur, paralela al río Guadalquivir, y lo cruza después de la cur-

va que describe éste antes de dirigirse hacia la ciudad.

Una vez salvado este obstáculo, existen sendos pasos superiores para salvar los cruces con las carreteras de Castro del Río y de Granada



Autovía Ronda Sur-Este, de Córdoba.

y se vuelve a enlazar con la carretera N-IV poco antes de la mencionada Cuesta de los Visos.

3.2. Descripción de la solución adoptada

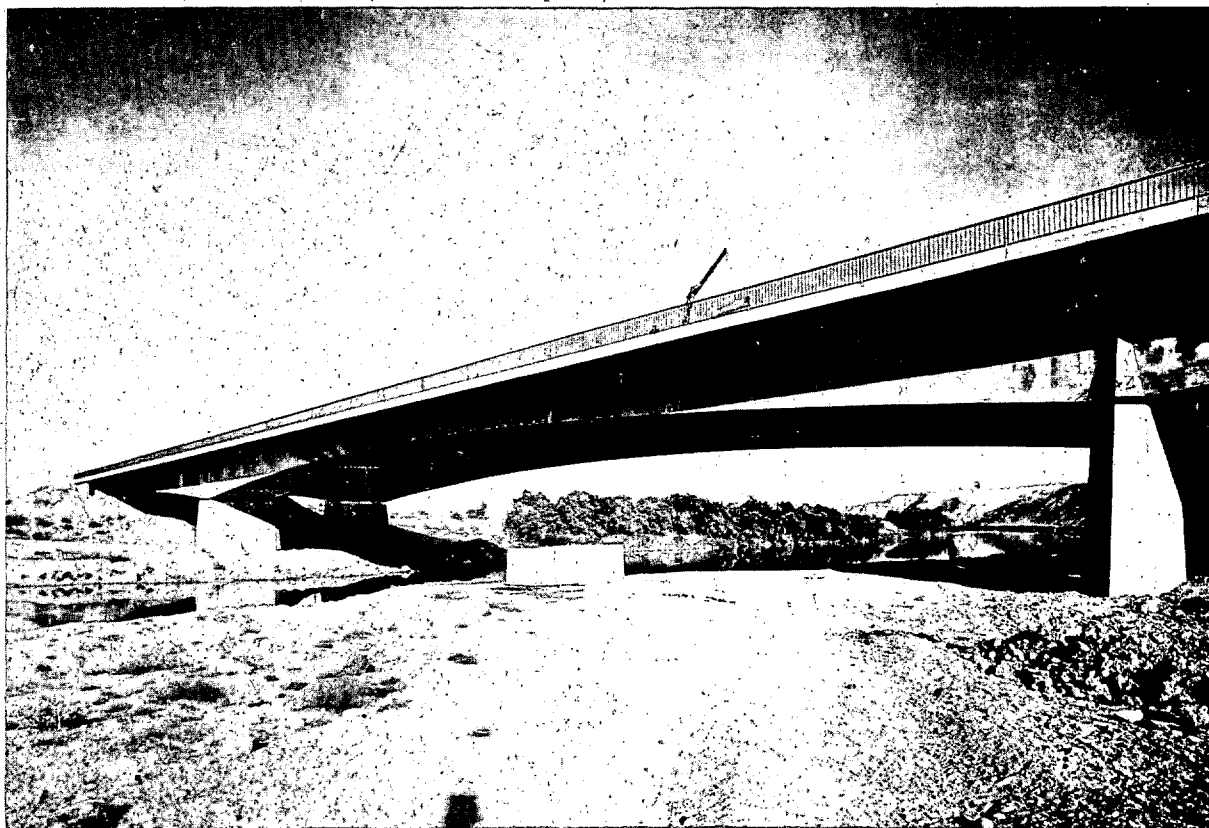
El cruce del río Guadalquivir en Córdoba tiene la ventaja sobre el del río Ebro en Logroño, de que aquél tiene una menor aportación posible de agua entre la última presa aguas arriba y la zona de ubicación del puente. Por otro lado aunque la anchura del cauce es parecida, la profundidad del agua es sensiblemente mayor en el río Ebro, por lo que se pueden poner más próximas las pilas y conseguir una compensación de vanos mucho más eficaz, estructuralmente hablando.

Como consecuencia de todo ello se han proyectado dos vigas continuas, una para cada calzada de tres vanos de 43,30 - 90,00 - 43,30 metros. La sección, en cajón monocelular, tiene un ancho de 7,50 metros con unos voladizos laterales de 3,60 metros que completan los 14,70

metros de la losa superior. El canto varía parabólicamente desde un máximo de 4,70 metros sobre pilas a 2,00 metros en el centro del vano central y 2,30 metros sobre estribos.

El espesor de la losa superior se mantiene constante, de 0,20 metros en los 3,20 metros centrales, aumentando hasta 0,40 metros en la unión con las almas, y variando linealmente entre 0,40 metros y 0,15 metros en los voladizos laterales. La losa inferior se mantiene con un espesor de 0,20 metros en los 50 metros centrales del puente y en los 24 metros de los vanos laterales, variando luego linealmente hasta alcanzar 0,70 metros en la zona sobre pilas. El espesor de las almas de 0,50 metros se mantiene constante a todo lo largo del puente.

La sección se maciza en una longitud de 1,20 metros sobre los estribos y de 1,50 metros sobre las pilas, dejando en estos últimos un paso de 1,60 metros x 1,00 metros para inspección del interior del tablero, al cual se accede a través de unos agujeros de 1,00 x 1,00 metros de



Autovía Ronda Sur-Este, de Córdoba.

jados en la losa inferior, próximos a los estribos.

Cada tablero está dividido en 45 dovelas, de las que 11 corresponden a cada uno de los vanos laterales y 23 al central. La longitud máxima de dovelas es de 4,80 metros y la mínima, exceptuando la de cierre que es de 2 metros, de 3,40 metros.

El pretensado está constituido por 54 tendones de 15 TI/2", en cada voladizo y 28 tendones de continuidad de las mismas características en los 63,60 metros centrales, tesos a 212 toneladas como en el puente de Logroño. Además existen 6 tendones de refuerzo de 7 TI/2" en los 17 metros últimos de los vanos laterales, tesados a 99 toneladas. Se han dispuesto, además cuatro vainas de reserva en la losa superior, dos en la losa inferior en la zona de cables de continuidad, y dos en cada vano lateral coincidiendo con el trazado de los cables de refuerzo.

Al igual que en el puente de Logroño, el tablero descansa sobre las pilas mediante aparatos de neopreno-teflón de 1.600 toneladas de capacidad de carga, de los cuales uno es multidireccional y otro unidireccional, en cada pila, y sobre los estribos mediante apoyos de neopreno zunchado, siendo los cables de anclaje de 8 TI/2", tesados a 119 toneladas ya que este puente tiene mucha mejor compensación que aquél.

Las pilas son tronco-piramidales, macizas, de 7,50 x 1,50 metros en la coronación y de 8,10 x 2,70 en la base, con tajamares variables que se prolongan en el paramento del tablero, sirviendo de tapa a los anclajes de los cables de pretensado de la traviesa de pila. La altura de las pilas es de 10,80 y 12,40 metros, y se cimentan sobre zapatas superficiales de 14,00 x 6,50 metros y 2,50 metros de canto, las de la margen izquierda y sobre un recinto exagonal formado por pantallas de 0,80 metros de espesor las de la margen derecha.

Los estribos son análogos a los del puente del Ebro, cimentándose sobre siete pantallas de 2,60 x 0,80 metros que se empotran en las margas, y se prolongan hasta la zona de apoyos. Además, para dejar libre la zona de cauce del río, se dispone una losa vertical de 0,40 metros de espesor entre pantallas y las correspondientes aletas laterales.

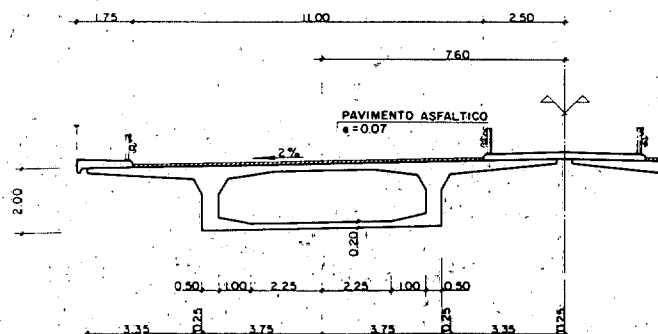
3.3. Construcción

El sistema fue igual que el utilizado en el puente del Ebro.

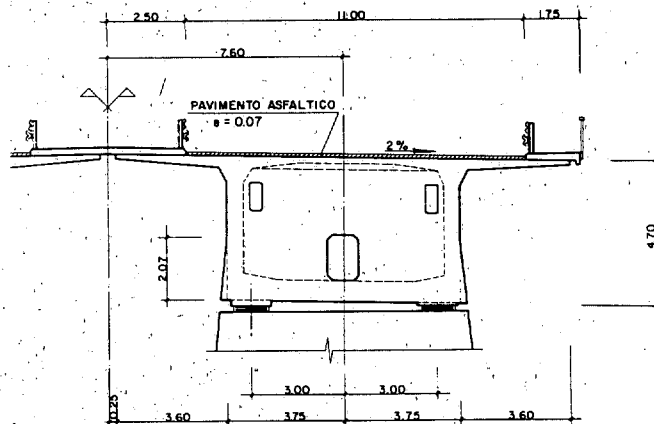
Para la construcción de los tableros por el sistema de voladizos sucesivos, hormigonados «in situ», se construyeron unas zonas cimbradas de 16,70 metros de longitud, disponiendo el apoyo provisional a 13,95 metros del eje de pila, en el vano lateral. Estos apoyos eran iguales que los descritos anteriormente.

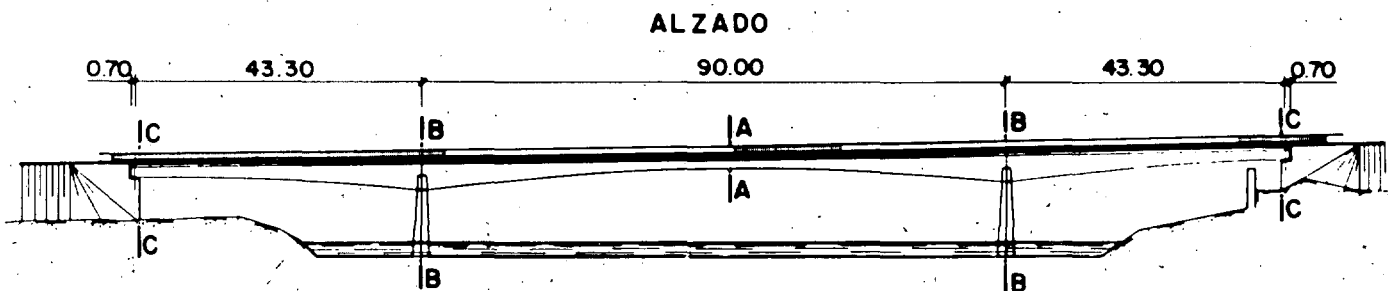
A partir de este momento, se montaron los carros de avance, construyéndose cuatro dovelas del vano central y luego simétricamente, las seis dovelas restantes de cada vano.

SEMI - SECCION A-A
ESCALA 1:100



SEMI - SECCION B-B
ESCALA 1:100





La construcción de la última dovela del vano lateral fue algo diferente de la del puente del Ebro, pues, en éste, se desmontó la parte inferior del carro colocando el encofrado de la losa inferior apoyado en el estribo y el de la losa superior y almas colgado del carro de avance. En cambio, en el puente de Córdoba, se dejó el estribo coronado por debajo de la superficie de apoyo para permitir que el carro pasara por encima y se pudiera hormigonar toda la dovela suspendida de él, completando el estribo en la zona de apoyos y anclando el tablero una vez retirado el carro de avance.

A continuación se procedió al hormigonado de la dovela de cierre y a la introducción del pretensado de continuidad y de refuerzo de los vanos laterales.

Por último se pretensaron transversalmente las riostras sobre pilas, desde la parte interior

del cajón, dejando los anclajes correspondientes al paramento exterior embebidos en la prolongación del tajamar de la pila.

3.4. Prueba de carga

La prueba de carga se realizó a base de doce camiones de 44,5 toneladas de carga total cada uno, con cuatro ejes. Los estados de carga fueron análogos a los realizados en el puente de Logroño, con la única diferencia que en el tercer estado, con carga excéntrica en el vano central, sólo se dispusieron ocho camiones que son los que materialmente entran en el mismo.

Los dispositivos de medidas de flechas fueron los mismos que se emplearon en el puente sobre el Ebro, obteniéndose los siguientes resultados:

FLECHAS (↓+) (mm.)

PUNTO	ESTADOS DE CARGA					
	1		2		3	
	PREVISTO	REAL	PREVISTO	REAL	PREVISTO	REAL
A 18,70 m. del estribo 1	9,94	8,0 12,0	— 15,51	— 11,0 — 13,0	— 8,34	— 10,0
A 23,50 m. del estribo 1	9,39	8,0 8,0	— 15,66	— 11,0 — 13,0	— 9,04	— 10,0
A 18,70 m. del estribo 2	10,01	8,0 9,0	— 16,12	— 14,0 — 14,0	— 8,28	— 8,0
A 23,50 m. del estribo 2	9,43	7,0 9,0	— 16,28	— 14,0 — 14,0	— 8,96	— 6,0
Centro del vano central	— 16,34	— 11,0 — 16,0	67,46	60,0 60,0	40,78	37,0

(En las casillas de flechas reales, las cifras superiores corresponden al puente de aguas abajo y las inferiores al de aguas arriba).